أساسيات تغذية النبات

ترجمة



صلاح الدين مصطفى أبوغرسة











منشورات جامعة عمر المختار 2022

أساسيات تغذية النبات

تأليف :

الدكتور: كونراد مينجل   ايرنست أ . كيركبي

ترجمة :

الأستاذ الدكتور: الدكتور:

محمد محمد يعقوب   صلاح الدين مصطفى أبو غرسه



منشورات جامعة عمر المختار- 2022

اسم الكتاب : أساسيات تغذية النبات.

أسماء المؤلفون: الدكتور: كونراد مينجل ايرنست أ. كيركبي

ترجمة:

الأستاذ الدكتور:محمد محمد يعقوب الدكتور:صلاح الدين مصطفى أبو غرسه

رقم الإيداع : 2017/109م.

دار الكتب الوطنية بنغازي – ليبيا



منشورات
جامعة عمر المختار
البيضاء

الترقيم الدولي

ردمك ISBN 978-9959-79-077-4

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَىٰ طَعَامِهِ (24) أَنَّا صَبَبْنَا الْمَاءَ صَبًّا (25) ثُمَّ شَقَقْنَا الْأَرْضَ شَقًّا (26) فَأَنْبَتْنَا فِيهَا حَبًّا (27) وَعِنَبًا وَقَضْبًا (28) وَزَيْتُونًا وَنَخْلًا (29) وَحَدَائِقَ غُلْبًا (30) وَفَاكِهَةً وَأَبًّا (31) مَتَاعًا لَكُمْ وَلِأَنْعَامِكُمْ (32)

سورة عبس



إهداء

إلى روح أمي ..

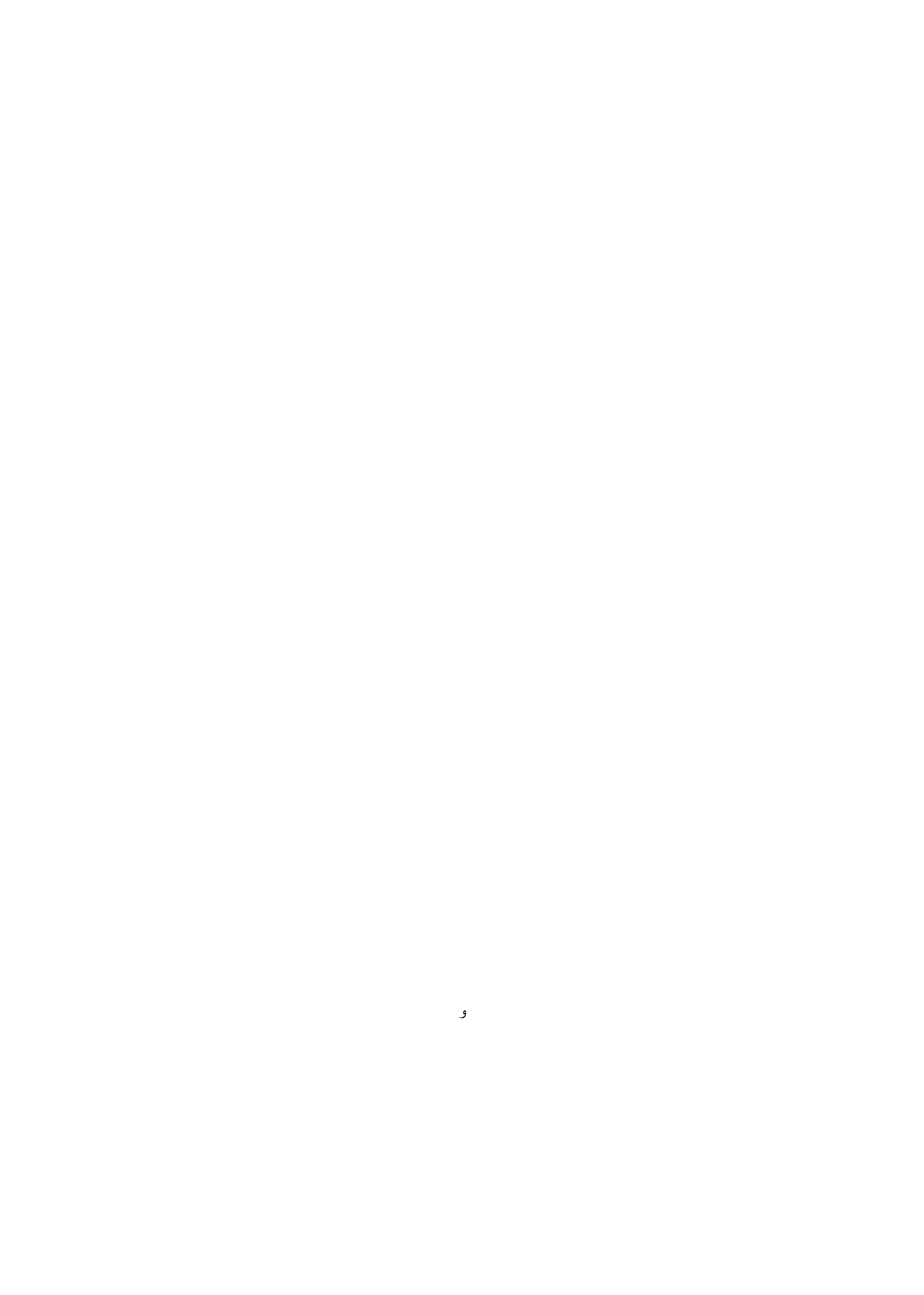
فاطمة محمد حسن

و إلى روح والدي ...

إلى روح زوجتي ...

انتصار خير الله بالحاسية

محمد محمد يعقوب



إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى ابنتي العزيزة

سيدرا ...

بالتوفيق والسعادة

صلاح الدين مصطفى أبوغرسة



قائمة المحتويات



تمهيد المؤلفين للطبعة الثالثة

إن الطلب الكبير على الطبعة الأولى من كتاب "أساسيات تغذية النبات" نتج عنه طبعة جديدة نشرت خلال سنتين في عام 1978 خلال هذه الفترة، شرع في الترجمة إلى اللغات الأخرى. هذه الاستجابة العالمية الانتشار تؤكد رؤيتنا بأنه في الحقيقة هناك احتياج لمثل كتابنا الذي جعل جسوراً فيما بين فروع المعرفة من علم الأراضي وفسيولوجي النبات والمحاصيل، على اعتبار أساسيات تغذية النبات. إن نجاح الكتاب أيضاً شجعنا على تنقيح وتحديث النص للطبعة الجديدة.

معظم النقد للطبعة الأولى كان طيباً، وبعضه قدم نقداً مفيداً بناءً ذا قيمة عظيمة في إعداد هذه الطبعة. من هذه الناحية نحن خاصة نقر بالجميل لأصدقائنا وزملائنا الذين أوضحوا لنا أخطاءنا بلباقة، وطلابنا الذين ساعدوا بالمقترحات وبمراجعة النص للبحث عن الأخطاء المطبعية في هذه الطبعة الثالثة المنقحة والتي تغطي الدوريات حتى نهاية 1981 والشاملة أكثر لمعاملة تعطي وجهات نظر معينة شملت نمو الجذور والعمليات في الطبقة السطحية للجذور (الريزوسفير Rhizosphere).

لقد تم تجهيز صور ضوئية بطريقة ملائمة لهذه الطبعة بواسطة J. C. Brown , Madison - R. F. Evert , Letcombe - M. J. Goss, M.C. Drew, Beltsville Stuttgart - Hohenheim , Nancy - O. Reisinger, H.Breisch , A. Guckert.

و إلى هؤلاء لهم Hannover - G. Trolldenier, Leeds - F. E. Sanders, A. Krauss منا خالص الشكر.

إننا فخورون على اعتبار إنتاج كتاب "أساسيات تغذية النبات" كمغامرة عالمية لمؤلفين فقط وناشر، كل منهم من بلد مختلف لكن أيضاً، للتغطية في الكتاب كمحاولة قد كللت بالنجاح لتقدم طريقة منهم للعالم. نحن مبتهجون لأن هذا الكتاب قد استعمل في أجزاء كثيرة مختلفة من العالم.

مرة أخرى نحن نحب أن نعبر عن عرفاننا بالجميل شاكرين ناشرنا The International Potash Institute لما أبدى العقل دائماً لرغباتنا فيما يتعلق بالكتاب.

مقدمة المترجمين

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين، سيد الأولين والآخرين، المبعوث رحمة للعالمين، محمد بن عبد الله وعلى أصحابه أجمعين، وبعد ...

تعتبر قضية تعريب العلوم رسالة على قدر كبير من الأهمية، للحفاظ على هوية الأمة، والتي كما هي منوطة بمؤسساتها العلمية والتعليمية القريبة من مجالات العلوم المختلفة، لا سيما والعالم يشهد في هذا القرن طفرة علمية لم يشهدها في ما سبق.

وهذا الكتاب الذي بين أيديكم هو مساهمة متواضعة من طرفا في تعريب العلوم في مجال تغذية النبات، حيث أن محتوياته تعتبر ذات قيمة علمية وتطبيقية إذ يساهم في معرفة أضرار النقص أو الزيادة للعناصر الغذائية للنبات، ذلك الكائن الحي الثابت في مكانه، والمصنع لغذائه من العناصر الأولية، والمختلف عن الكائنات الأخرى المتحركة بحثاً عن احتياجاتها الغذائية الجاهزة في محيطها. وهو يساعد أيضاً بصورة فاعلة على زيادة الإنتاج مع التعرف على العواقب لسوء التغذية من العناصر لتلك النباتات. وتأثيرها على جودة الإنتاج وكميته، الأمر الذي يعود بالنفع على المزارع والدارس والمتفحص بما يحتويه من معلومات لمصادر عدة مما ييسر التعرف على أعراض النقص أو الزيادة للعناصر الضرورية وغير ذلك،

ومن ثم معالجة الخلل عن طريق وسائل الإضافة المختلفة كالتسميد الاعتيادية والتسميد الورقي بالرش إلى غير ذلك من الوسائل.

لقد ظهر هذا العمل بهذه الصورة نتيجة لجهود أساتذة أفاضل استحقوا منا كل ثناء وإكبار، حيث قام بالمراجعة العلمية الدكتور إبراهيم الزاعل إبراهيم والدكتور ميكائيل يوسف الفيتوري، مع شكرنا للأستاذ الكبير القدر سليمان هاشم (أستاذي في المرحلة الإعدادية) الذي قام بالمراجعة اللغوية. وهذه الصورة التي عليها الكتاب هي نتيجة لعمل مضنٍ ومجهود ليس بالاعتيادي قام به الإخوة منير الشلوي وحافظ محمود في مركز العالم الآن للطباعة بمدينة البيضاء، حيث قاموا بطباعته محافظين على نفس إخراج الطبعة الأجنبية، مضيفين إليها لمسات بديعة في سبيل جعله ذا منفعة وفائدة. فلهم منا كل إجلال وتقدير.

نرجو من الله أن يبارك هذا الكتاب وينفع به مستعمليه والله من وراء القصد.

المترجمان

الفصل الأول

مغذيات النبات

1.1. التعريف والتصنيف

الميزة أو الظاهرة الواضحة للحياة هي مقدرة الخلايا الحية على أخذ المواد من البيئة واستعمالها في تخليق مكوناتها الخلوية أو كمصدر للطاقة.

أن التزويد والامتصاص للمركبات الكيميائية الضروري للنمو والأيض النباتي يمكن أن يُعرف بالتغذية، والمركبات الكيميائية التي يحتاج إليها الكائن الحي (متعضيات) سميت بالمغذيات، والآلية التي بوساطتها تتحول المغذيات إلى مواد خلوية أو تستعمل لأغراض الطاقة الفعالة عن طريق العمليات الأيضية.

إن مصطلح الأيض يشمل مختلف التفاعلات التي تحدث في الخلية الحية من أجل استمرارية الحياة والمحافظة على النمو. إن التغذية والعمليات الأيضية ذات علاقة متبادلة مع بعضها إلى حد بعيد.

إن المغذيات الضرورية التي تحتاجها النباتات الراقية تكون مقصورة على العناصر ذات طبيعة غير عضوية وهذا الاحتياج من قبل النباتات الراقية للمغذيات غير العضوية هو ما يميزها عن الإنسان والحيوانات، وعدد من الكائنات الحية الدقيقة التي تحتاج مواد عضوية إضافية. العنصر الضروري لتغذية النبات يجب أن تجتمع من ثلاثة معايير، وتلك المعايير هي:

1. النقص في العنصر يجعل من الصعب على النبات استكمال دورة حياته.
2. أعراض النقص تكون مميزة للعنصر الذي نحن بصدد السؤال عنه.
3. يدخل العنصر مباشرة في تغذية النبات، بحيث يكون جزءاً أساسياً من عملية الأيض أو يحتاج إليه لعمل النظام الأنزيمي.

العناصر الآتية تعرف الآن بأنها ضرورية للنباتات الراقية اعتماداً على المعايير التي اقترحت بوساطة ((Arnon and Stout (1939)

الكربون	**C**	**البوتاسيوم**	**K**	**الموليبديوم**	**Mo**
الأيدروجين	**H**	**الكالسيوم**	**Ca**	**البورون**	**B**
الأكسجين	**O**	**المنجنيز**	**Mg**	**الكلورين**	**Cl**
النتروجين	**N**	**الحديد**	**Fe**	**(الصوديوم)**	**Na**
الفسفور	**P**	**النحاس**	**Cu**	**(السيليكون)**	**Si**
الكبريت	**S**	**الزنك (الخارصين)**	**Zn**	**(الكوبالت)**	**Co**

لم يثبت بأن الصوديوم والسيليكون والنحاس هي عناصر ضرورية لكل النباتات الراقية، ولهذا السبب وضعت هذه العناصر بين الأقواس كما هو موضح أعلاه.

وفي حالة الصوديوم هناك بعض الأصناف النباتية بالتحديد رجل الأرز Chenopodiaceace والأصناف المتأقلمة على الظروف المالحة تمتص هذا العنصر بكميات مرتفعة نسبياً. وللصوديوم تأثير إيجابي ويكون ضرورياً في بعض الحالات.

وما ذكر آنفاً يكون صحيحاً بالنسبة للسيليكون الذي يعتبر عنصراً مغذياً ضرورياً لنبات الأرز وحديثاً إدراج الكلورين إلى قائمة العناصر الضرورية اللازمة لنمو كل النباتات الراقية (Broyes et al, 1954). وربما تكون قائمة العناصر الضرورية الموضحة أعلاه غير كاملة تماماً.

حيث ربما يثبت فيما بعد بأن عناصر أخرى تكون ضرورية للنباتات الراقية بتركيزات منخفضة جداً. وبالنسبة لبعض الكائنات الدقيقة على سبيل المثال ثبت أن الفاناديوم من

العناصر الضرورية (Nicholas, 1961). يمكن تقسيم مغذيات النبات إلى المغذيات الكبرى والمغذيات الصغرى، المغذيات الكبرى هي التي وجدت في النبات ويحتاجها بكميات أكبر نسبياً من المغذيات الصغرى. محتوى الخلايا النباتية من عنصر مغذي أساسي كالنتروجين مثلاً يكون أكثر ألفا مرة أكبر من عنصر الزنك الذي هو يعتمد على محتوى العنصر في المادة النباتية فإن المغذيات الكبرى هي C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, (Na , Si) وأما Fe, Cl, B, Mo, Zn, Cu, Mn فهي مغذيات صغرى.

يكون تصنيف المغذيات النباتية إلى مغذيات كبرى وصغرى تحكيماً (مجازياً) لحد ما حيث في كثير من الحالات يكون الاختلاف بين محتوى المغذيات الكرى والصغرى أقل تحدياً إلى حد بعيد من المثال الذي ذُكر أعلاه. وعلى سبيل المثال يكون محتوى خلايا النبات من الحديد (Fe). والمنجنيز (Mn) في بعض الأحيان مرتفعاً تقريباً مثل محتواها من الكبريت والمغنيسيوم. في أحوال كثيرة لأن محتوى المغذيات الكبرى يكون أكثر من الاحتياجات الفسيولوجية للنبات، وعلى سبيل المثال هذه حقيقة كما في المنجنيز مثلاً. يوجد أيضاً الكلورين في كثير من الأصناف النباتية بتراكيز مرتفعة نسبياً. ولكن يحتاج بكميات ضئيلة فقط في كامل النبات، رغم دوره المحتمل في عملية التمثيل الضوئي إلا أنه يحتاج إليه بكميات ضئيلة داخل النبات.

ويبين هذا المثال بوضوح بأن المحتوى المغذي لأعضاء النبات (الأوراق والسيقان والثمار والجذور) يعطي مؤشراً بسيطاً لكمية المغذي الذي تحتاجه النباتات للعمليات الفسيولوجية والكيموحيوية.

وربما تحتوي النباتات أيضاً على تركيزات مرتفعة من العناصر غير الضرورية، وربما يكون بعضها ذات تأثير سمي، مثل الألمنيوم Al والنيكل Ni والسيلينيوم Se والفلورين F.

من وجهة النظر الفسيولوجية يكون من الصعب تبرير تصنيف المغذيات النباتية إلى مغذيات كبرى وصغرى اعتماداً على تركيز العنصر في خلايا النبات. وتصنيف المغذيات النباتية تبعاً إلى سلوكها الكيموحيوي ونشاطها الفسيولوجي يبدو الأكثر ملائمة.

وبتبني النظرة الفسيولوجية يمكن للمرء تصنيف المغذيات النباتية المبينة في جدول 1.1. حيث تتضمن المجموعة الأولى المكونات الأساسية لمادة النبات العضوية S-N-O-H-C.

تمثل هذه المرطبات بواسطة عملية Carboxylation لتكوين مجموعات كربوكسيلية. يكون اندماج الكربون أيضاً مصحوباً في نفس الوقت بتمثيل الأكسجين، ولكن CO_2 وHCO_3 تحولت غذائياً، وليس الكربون فقط.

يؤخذ الأيدروجين من محلول التربة في صورة ماء ومن المحيط الجوي تحت الظروف الرطبة. ويختزل الماء (H_2O) إلى الإيدروجين (H) أثناء عملية التمثيل الضوئي (Photolsis). هذا تنتقل عبر سلسلة من الخطوات العديدة إلى مركب عضوي ينتج عنها اختزال نيكوتين ادينين داي نيكلوتيد (Nicotinamide adenine dinucleotide) NADP إلى الصورة المختزلة NADPH وهو مرافق انزيمي هام وله أهميته العامة في الأكسدة والاختزال حيث يستطيع أن ينقل الايدروجين (H) من NADPH إلى العديد من المركبات المختلفة.

Table 1.1 Classification of plant nutrients

Nutrient Element	Uptake	Biochemical Functions
1st group C, H, O, N, S	in the form of CO_2, HCO_3^-, H_2O, O_2, NO_3^-, NH_4^+, N_2, SO_4^{2-}, SO_2. The ions from the soil solution, the gases from the atmosphere.	Major constituent of organic material. Essential elements of atomic groups which are involved in enzymic processes. Assimilation by oxidation-reduction reactions.
2nd group P, B, Si	in the form of phosphates, boric acid or borate, silicate from the soil solution.	Esterification with native alcohol groups in plants. The phosphate esters are involved in energy transfer reactions.
3rd group K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl	in the form of ions from the soil solution.	Non-specific functions establishing osmotic potentials. More specific reactions in which the ion brings about optimum conformation of an enzyme protein (enzyme activation). Bridging of the reaction partners. Balancing anions. Controlling membrane permeability and electro-potentials.
4th group Fe, Cu, Zn, Mo	in the form of ions or chelates from the soil solution.	Present predominantly in a chelated form incorporated in prosthetic groups. Enable electron transport by valency change.

بأخذ النبات أو يمتص النتروجين على صورة أيونات النترات NO^-_3 أو الأمونيوم NH^+_4 من محلول التربة أو من صورة غاز النيتروجين N_2 و الأمونيا NH_3 من الغلاف الجوي، وتدعى العملية الأخيرة بعملية التثبيت الجزئي للنتروجين N_2 الذي يتوقف أو يعتمد على وجود كائنات حية دقيقة معينة بعضها (مثل الريزوبيوم Rhizobium والـ Actinomycesalin) التي تعيش بصورة تكافلية مع النباتات الراقية ويتم تمثيل النتروجين النتراتي بوساطة عمليات الاختزال وتتبع بعملية تكوين الأمينات، تمثيل النتروجين الامونيومي

يتضمن أيضاً تكوين الأمينات. تأسيس N من جزيئي N_2 يتوقف على الاختزال الأولي N_2 إلى NH_3 والذي يتمثل من جديد بعمليات تكوين الأمينات.

ويكون تمثيل الكبريت S مشابه لتأسيس $N\text{-}NO_3$. أعني يختزل الكبريت من صورة $SO4^{2-}$ إلى مجموعة SH ويمكن أن يمتص أيضاً من الغلاف الجوي على صورة SO_2، والتفاعلات التي تؤدي إلى دمج الـ S, C, H, O, N في جزيئات عضوية هي عمليات فسيولوجية أساسية في التحول الغذائي لبناء النبات والذي سوف نتناوله بتفصيل أكثر فيما بعد. في هذا السياق هناك حاجة فقط إلى ذكر أن المكونات الرئيسية لمادة النبات العضوية تُمثّل بوساطة تفاعلات فسيولوجية معقدة وعلى هذا فهي تختلف بوضوح عن مكونات المغذيات الأخرى.

الفوسفور والبورون والسيليكون تشكل مجموعة أخرى التي تتشابه في الخواص الكيموحيوية، وتمتص كلها على صورة أيونات غير عضوية أو أحماض، وتوجد كما هي في خلايا النبات أو مرتبطة مع مجموعات الأيدروكسيل السكرية مكونة استرات الفوسفور واسترالبورات. واستر السيليكات.

ومجموعة المغذيات النباتية الثالثة التي تشمل البوتاسيوم K. والصوديوم Na والكالسيوم Ca والمغنيسيوم Mg والمنجنيز Mn والكلور Cl التي تؤخذ من محلول التربة في صورة أيونات (أيونية). توجد بداخل خلية النبات في حالة أيونية حرة أو تكون مدمصة على الأنيونات العضوية غير القابلة للانتشار، مثال ذلك إدمصاص الكالسيوم بمجموعات الكربوكسيل البيكتينية. وقد يوجد المغنيسيوم أيضاً مرتبط بقوة بجزء الكلوروفيل. وهنا يتم

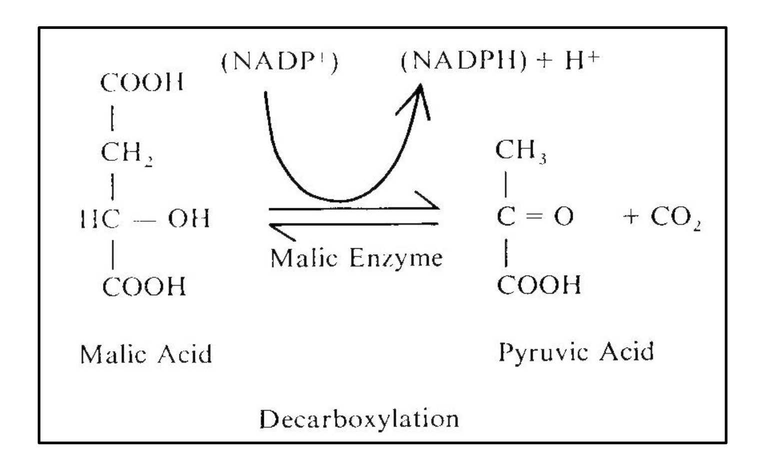
خلب المغنيسيوم Mg^{2+} الذي يكون مرتبطاً بوساطة أواصر التساهمية (روابط متساوية) (سوف يناقش مصطلح الخلب في صفحة قادمة)، ومن هذه الوجهة فالمغنيسيوم يشابه إلى حد بعيد عناصر المجموعة الرابعة وهي الحديد Fe والنحاس Cu والزنك Zn والموليبديوم Mo. وغالباً ما توجد هذه العناصر في حالة مخلوبة في النبات باستثناء الموليبديوم الذي يمتص بوساطة النبات كمركب مخلبي، والتقسيم بين المجموعة الثالثة والرابعة هو غير واضح تماماً بالنسبة للـ Ca, Mn, Mg والتي أيضاً يمكن أن يحدث لها خلب أيضاً.

2.1 الوظائف العامة

كما وُضِّح أعلاه بأن الكربون والأيدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت عناصر مكونة للمادة العضوية. بالإضافة إلى هذا فإنها تدخل في العمليات الأنزيمية من ناحية ثانية. وإن الكربون والأكسجين بالدرجة الأولى هي من مكونات مجموعة الكربوكسيل، والأيدروجين والأكسجين تدخل في عمليات الأكسدة والاختزال في صورة NH_2^-، =NH، -N+- والكبريت S وفي صورة مجاميع الـ SH. وبناءَ عليه فهي مفاعلات أساسية في العمليات الكيموحيوية. وبعض الأمثلة العامة للتفاعلات الداخلة موضحة أدناه.

تمثل النباتات الكربون في صورة CO_2 وتسمى هذه العملية Carboxylation والتي فيها يتم بناء الكربوكسيل من الكربون وهي تزود الآلية الأساسية التي تثبت بها ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي. والعملية العكسية والتي بواسطتها ينطلق CO_2 وهي أيضاً معروفة في الكيمياء الحيوية، وتعرف بالــ Decarboxylatiion. (أي عملية نزع الكربوكسيل) مثال على الـDecarboxylatiion هو تحرير ثاني أكسيد الكربون من حامض الماليك لتكوين

الحامض البيروفي، وهذه تُحفزت بإنزيم الماليك ومرافق الأنزيم نيكوني اميد آدينين دينكاوتيد الفوسفور Nicotinamide adenine dinucletotide phosphate



يكون توازن هذا في صالح تكوين حامض البيروفي (Pyruvic acid) وفيه تنقل ذرتا أيدروجين من حامض المالك وإحداهما تعبر لاختزال المرافق الأنزيمي +NADP وتصدّر الأخرى كبروتون (+H) والمكون النشط للمرافق الأنزيمي هو النيكوتين أميد Nicotinamide.

توضيح صور الأكسدة والاختزال مبين أدناه:

$$\text{(NADP}^{+}\text{)} + 2H \rightleftharpoons \text{(NADPH)} + H^{+}$$

وعملية تحرير ثاني أكسيد الكربون (Decarboxylation) هي مثال أيضاً على مشاركة أو اشتراك ذرة النتروجين في العمليات الأنزيمية. حيث تحتوي كل الأنزيمات ومرافقات الأنزيمات على النتروجين. وتستطيع أيضاً مجموعة SH مشاركة عمليتي الأكسدة والاختزال. والمعادلة الآتية توضح التفاعل لمجموعتين من الـ SH لجزيء سيسيتين Cysteine ينتج عنها بناء ذرة واحدة من سيستين Cysteine، ويتصف هذا المركب باحتوائه على الرابطة S-S تكون سائدة في البروتينات وتعمل مثل رباط (وصلة) بين شرائط متعدد الببتيدات.

$$\underset{\text{Cysteine}}{H_2N-CH(COOH)-CH_2-S\boxed{H + H}} \underset{\text{Cysteine}}{S-CH_2-CH(COOH)-NH_2} \rightleftharpoons \underset{\text{Cystine}}{H_2N-CH(COOH)-CH_2-S-S-CH_2-CH(COOH)-NH_2} + 2H$$

المجموعة الثالثة والرابعة من المغذيات (جدول 1.1) ليس لها الوظائف الخلوية

الأيونية المتخصصة مثل تكوين الجهد الأسموزي في أجزاء الخلية (العضليات) أو المحافظة على التوازن الأيوني. بالإضافة لذلك يمكن لهذه العناصر القيام بوظائف معينة. وفي ورقته المرجعية الممتازة Clarkson and Hanson (1980) وضعا نظاماً قسمت فيه مغذيات المجموعة الثالثة والرابعة في تصنيف للوظائف إلى أربع فئات Cateqeries كالتالي:

1. آليات تحكم وتحفيز (الصوديوم Na^{+} والبوتاسيوم K^{+} والمغنيسيوم Mg^{2+} والكالسيوم Ca^{2+} والكلور Cl^{-}) بوساطة تحكم في الجهود الأسموزية ونفاذية الغشاء والجهود الكهربائية والموصلية الكهربائية.

2. تأثيرات تركيبية (Mn^{2+},Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^{+}) لوساطة بارتباطها بجزيئات عضوية وبخاصة الجزيئات الأنزيمية وبذا تحفز من تكييفها.

3. تكوين أحماض لويس Lewis acids (Mg^{2+} و Ca^{2+} و Ma^{2+} و Fe^{2+} و Cu^{2+} و Zn^{2+})، هذه الأيونات قادرة على استلام (استقبال) زوج من إلكترون، وهذه يمكن أن تحفز أو تستقطب مجموعاته النشطة.

4. تفاعلات أكسدة واختزال (ريدوكس Redox) (Ma^{2+} و Fe^{2+} و Ca^{2+} و Zn^{2+})، هذه الأيونات هي مكونات أساسية للمجموعات التعويضية (التكميلية) التي تسبب في انتقال إلكترون الكلسيوم والماغنسيوم للانجذاب بقوة أكثر للمجاميع الكربوكسيلية والفوسفور في حين أن العناصر المعدنية الانتقالية Zn - Cu - Ma - Fe تنجذب بخصوصية أكثر بواسطة النيتروجين والكبريت.

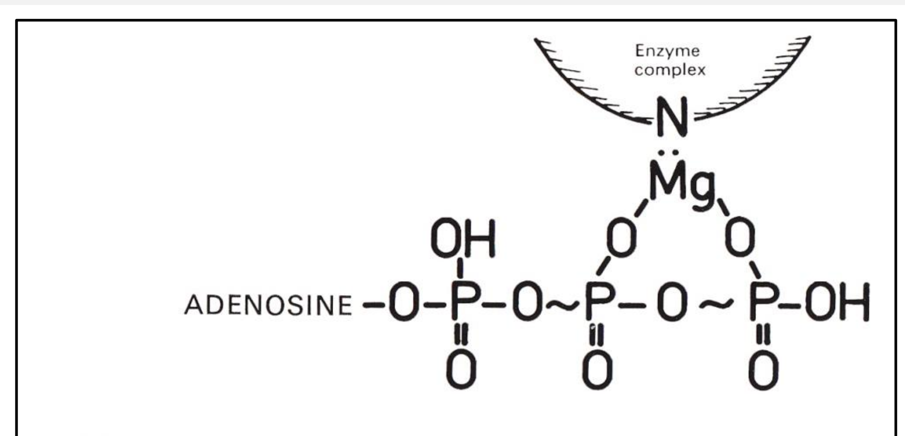


Fig. 1.1 Magnesium bridging an enzyme with adenosine triphosphate.

وبما أن أيونات الكالسيوم Ca^{2+} تستطيع وبسهولة كبيرة أن تستفيض ماء التأدرت، فهي تستطيع التفاعل مع أنواع من الأغلفة بقوة أكثر من أيونات الماغنيسيوم، ولهذا فالكالسيوم يرتبط أساسياً بمادة جدار الخلية والأغشية ويكون تركيزه في السيتوبلازم منخفضاً نسبياً مقارنةً بالماغنسيوم Mg^{2+} عندما يرتبط Mg^{2+} مع جزيء عضوي يشكل تحفيزاً هندسياً وفراغياً قوياً في مجموعة البيروفوسفات للمرافق الأنزيمي ATP ليكون معقداً $MgATP^{+2}$، والذي يرتبط بعدها ببروتين أنزيمي، كذلك يمكن للماغنسيوم أن يكون معقداً مع مرافق الأنزيم ADP وهو الأدنيوزاين ثنائي الفوسفات رغم أن انجذاب ATP للماغنسيوم يكون أعلى بكثير.

EDTA Chelator + Ca^{2+} → Ca-EDTA Chelate

Fig.1.2 Chelation of Ca^{2+} by ethylene diamine tetra-acetate (EDTA).

العناصر الثقيلة هي عناصر المجموعة الأخيرة للمغذيات النباتية جدول (1.1) التي توجد غالباً في شكل مخلبي في النبات. وفيها تكون ذرة العنصر مقيدة بمركب عضوي برابطتين أو أكثر، لتشكل تركيباً حلقياً والشكل 12 مثال على ذلك حيث يرتبط الكالسيوم مع المركب المخلبي EDTA بطريقة بحيث تربط مجموعتين من كربوكسيل الحامض الكالسيوم Ca^{2+} بوساطة روابط الكتروستاتية، بينما تتكون رابطتان (متناظرتان) بين الكالسيوم Ca^{2+} وذرتان النيتروجين. فيتشكل معقداً ثابتاً سريع الذوبان في الماء، ومستقراً نسبياً مع التغيرات في درجة الحموضة (PH).

أكثر المخلبات النباتية التي توجد طبيعياً هي مجموعة الهيم (Haem) والمادة الخضراء (الكلوروفيل– Chlorophyll). وتتكون مجموعة الهيم من الحديد الحر والذي يرتبط مع ذرات النيتروجين العائدة من حلقتين ببرول Pyrrole (السائل القاعدي الضعيف) لتركيب بورفيرين Porphyrin بوساطة روابط التكافئية (Covalent) (الرسم 1.3). حيث تكون مجموعة الهيم مجموعة تكميل لعدد من الأنزيمات (الكاسكيز والبيروأكسيدير والسيتوكرومات

ةالسيتوكروم اوكسيديز). يستطيع الحديد الموجود في جزء أو شطر (Moiety) الهيم أن يغير تكافؤ من Fe^{2+} إلى Fe^{3+}.

$$Fe^{2+} \leftrightarrows Fe^{3+} + e^{-}$$

Fig. 1.3 Structure of the haem complex.

وانتقال الالكترونات يعتبر هو الوظيفة الرئيسية لهذه المجموعة التكميلية وتسمى المجموعة بالهيم (Haemin) في حالة الاختزال Fe II وفي حالة التأكسد (Fe^{3+}) تدعى بالهيمن (Haemin) كذلك فإن ذرات المعادن الأخرى مثل Cu، Co، Mo تعمل في النظم الأنزيمية بطريقة مشابهة للحديد.

تركيب الكلوروفيل يكون مشابهاً لتركيب الهيم (الرسم 1.4). يكون الماغنسيوم Mg مقيداً بذرات النتروجين لمركب بيروفيرات Porphyrin بوساطة رابطتين تساهميتين وذرتين

متناظرتين ولكن على عكس الحديد فإن الماغنسيوم لا يستلم الكتروناً مباشرة ولا يعطيه مباشرة.

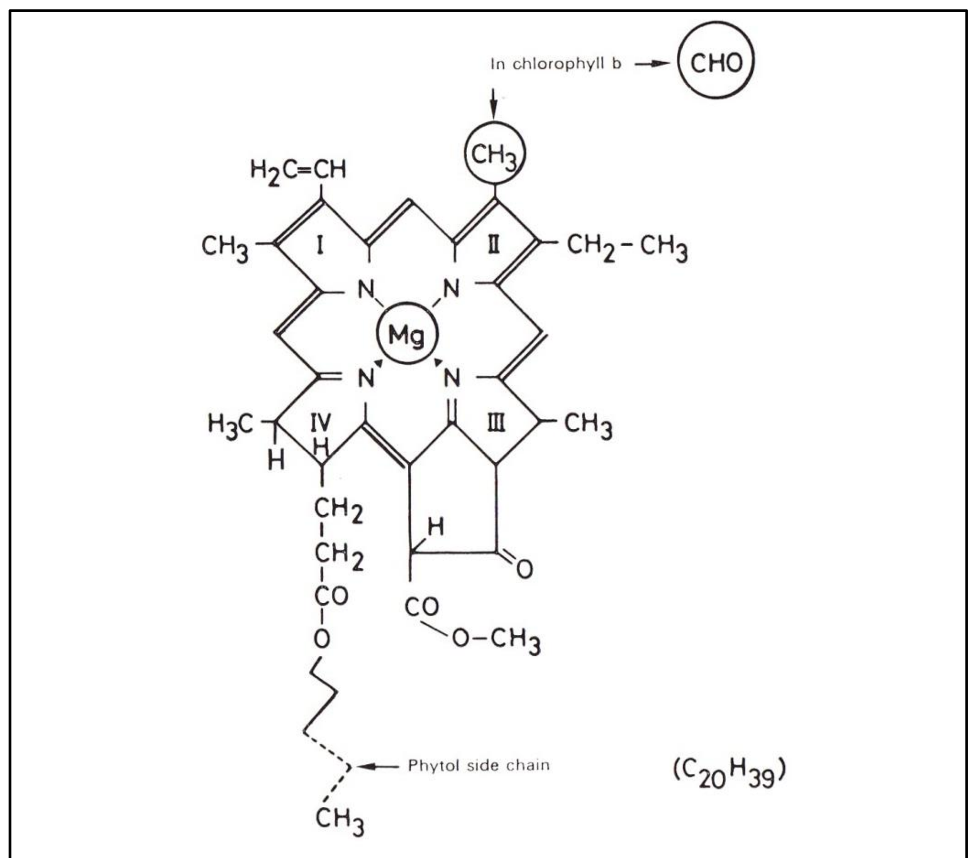


Fig. 1.4 Chlorophyll a molecule. In chlorophyll b the CH_3 group is substituted by a CHO group. The 4 pyrrole rings are indicated by I, II, III and IV.

يؤدي الكلوروفيل وظيفة حيوية هامة في عملية الأيض الغذائي في النبات، وذلك لأنه قادر على أن ينبعث منه إلكترون عند إثارته بالضوء. وهذا هو الأساس في عملية البناء

الضوئي. وتمتص المعادن الثقيلة غالباً من التربة في صورة المخلبيات. وتكون عملية الخلب في منطقة الجذور أو حتى على سطح الجذور، ولذلك فإن من المحتمل أن يكون لهذه العملية دوراً أساسياً في جاهزية المعادن.

3.1 المحتويات المعدنية في المادة النباتية

تحتوي المادة النباتية الحية على المادة العضوية والماء والمعادن. ويمكن أن تختلف الكميات النسبية لهذه المكونات الثلاثة. ولكن الماء يوجد دائماً في المادة النباتية الخضراء بنسب أكبر والمعادن تكون الأقل. وتوزيع النسب المئوية لهذه المكونات الثلاثة تكون كما يلي:

- الماء: 70 %.
- المواد العضوية: 27 %.
- المعادن: 3 %.

توضح النتائج المفصلة الموجودة في جدول 1.2 المحتوى المائي في المادة النباتية بشكل كبير. تشكل المعادن جزءاً صغيراً نسبياً من المادة الجافة، مع ذلك فهي مهمة جداً، لأنها تمكّن النبات من بناء المادة العضوية (البناء الضوئي) وعليه فإن المحتوى المعدني للنباتات والأعضاء النباتية له أهمية فسيولوجية وعملية.

العامل الرئيسي الذي يتحكم في محتوى المادة النباتية من المغذي هو الجهد المثبت وراثياً والخاص بامتصاص المغذيات المعدنية المختلفة. وهذا يفسر الحقيقة بأن محتوى N و K في المادة النباتية الخضراء يكون أكثر بحوالي عشرات مرات من محتوى P و Mg والتي بدورها

تكون أكثر من 100 – 1000 مرة عن المغذيات الصغرى. ويحدث هذا النمط العام في كل أنواع النباتات الراقية. ولكن يكون محدداً وراثياً أيضاً. ودرس Collander 1941 هذه المسألة حيث زرع 20 نوعاً من مختلف الأنواع النباتية في نفس المحلول المغذي. وقدّر المكونات المعدنية في النباتات المنتجة فوجد أن المحتوى K لم يكن مختلفاً كثيراً من الأنواع، ولكن وجد هذا الباحث اختلافاً ملحوظاً في محتويات كل من Si – Mg – Ca والاختلاف الأكبر وجد بين الأنواع في Na، Mn. ففي الحالات الشديدة كان محتوى الصوديوم والمنجنيز في الأنواع النباتية ذات جهد الامتصاص العالي لهذه المعادن (الصوديوم Na في Atriplex hortense ونباتات Vicia النباتية منخفضة الامتصاص لهذين المغذيين (الصوديوم Na لأنواع نباتات Fogopyrum و Zea والمنجنيز لأنواع نباتات Salicornia و Nicotiana.

ولقد لوحظ كثيراً بأن نسبة الكاتيونات الغذائية إلى الأحادية في نباتات ذات فلقتين هي أكبر من نباتات الفلقة الواحدة. والسعة التبادلية الكاتيونية لجذور نباتات ذات الفلقتين تكون في الغالب أعلى مما عليه في نباتات الفلقة الواحدة. وقد أكد في المراجع القديمة بأن هناك علاقة سببية بين السعة التبادلية الكاتيونية والاختلاف في عملية امتصاص الكاتيونات الثنائية والأحادية (Mclean et al. 1950 , Drake and White 1961) ويعتقد الآن بأن خصائص التبادل الكاتيوني للجذور قليل الأهمية على الأقل في تنظيم امتصاص الكاتيونات أحادية التكافؤ (Mengel 1961, Cunningham and Nielsem 1963).

Table 1.2 Water content of various plant tissues and materials in % of the fresh weight

Young green plant material	90–95
Young roots	92–93
Old leaves	75–85
Mature cereal straw	15–20
Hay	15
Cereal grains	10–16
Rape seed	7–10
Tomato fruits	92–93
Oranges	86–90
Apples	74–81
Banana fruits	73–78
Potato tubers	75–80
Sugar beet roots	75–80

ولكن تبين الشواهد اللاحقة بأن السعة التبادلية الكاتيونية للأنسجة النباتية يمكن أن تلعب دوراً جزئياً في التحكم في انتقال الكاتيونات الثنائية في داخل النباتات (Nan De Geijn and Petit 1979).

والعامل الثاني الذي يتحكم في المحتوى المعدني في المادة النباتية هو تيسير أو صلاحية المغذيات النباتية في الوسط الغذائي. وبأن تركيز معدن أو مغذي نباتي معين في النبات يزداد في شكل منحي كلما زاد تيسيره في الوسط الغذائي. (أنظر للرسم أو شكل 24.2). والعلاقة تيسير المغذي في وسط النمو ومحتوى النبات من هذا المغذي استخدمت في طرق التحليل الورقي والنباتي للتشخيص النبات تيسير المغذي في التربة.

يحتاج النبات إلى مستوى معين من كل مغذي في أنسجته، وإذا لم يزود بهذا فسوف يموت النبات. ويختلف هذا المستوى الحرج لكل مقدار من المغذيات النباتية. ومن الواضح بأن المغذيات الكبرى توجد غالباً بتراكيز أعلى من المغذيات الصغرى.

وتختلف المحتويات المعدنية بوضوح بين أعضاء النبات. بصفة عامة فإن الأجزاء الخضرية مثل الأوراق والسيقان والجذور تختلف إلى مدى كبير في تكوينها المعدني عن الثمار والدرنات والبذور. ويزود أو يمد النبات ثماره وبذوره بالعناصر وبالمادة العضوية على حساب أعضائه النباتية الأخرى وهذا يؤدي إلى اختلاف بسيط في المحتوى المعدني للأعضاء الإنتاجية (البذور) والمخزنة. وعلاقة الماغنسيوم التي وضحت في الشكل 1.5 يبين بأن تأثير زيادة تيسير الماغنسيوم في التربة يكون أكبر على المحتوى من الماغنسيوم في التبن من محتوى الماغنسيوم في الحبوب Schreiber (1949). وتوجد أيضاً نفس العلاقة لمغذيات نباتية الأخرى مثل الفوسفور P والنيتروجين N والبوتاسيوم K والحديد Fe والكالسيوم Ca.

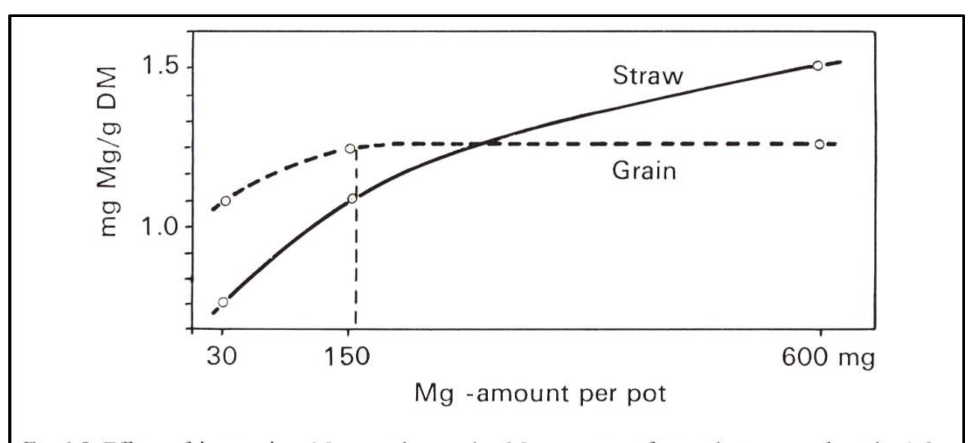


Fig. 1.5 Effect of increasing Mg supply on the Mg content of cereal straw and grain (after Schreiber [1949]).

يعتمد المحتوى المعدني للنباتات أيضاً على العمر، فالنباتات اليافعة والأنسجة الحديثة تحتوي على كميات عالية من N و K و P. بينما في النباتات المتقدمة في العمر والأعضاء

الأكثر نضجاً فإن محتواها من الكالسيوم Ca والمنجنيز Mn والحديد Fe والبورون B يكون أعلى (Smith, 1962). شريطة أن يعبر عن المحتوى المعدني على أساس المادة الجافة في النبات. والشكل 6.1 يوضح الاختلاف في محتويات النتروجين N والفوسفور P والبوتاسيوم K أثناء فترة نمو محاصيل الغلال. يزداد محتوى المغذيات (العناصر الغذائية) في الأسابيع الأولى لموسم النمو، وذلك نتيجة الزيادة النسبية في معدل امتصاص المغذي مقارنةً بمعدلات النمو، وبمجرد أن تنتهي مرحلة تكوين الخلفات فإن معدل استطالة الساق تبدأ بمعدل نمو عالٍ جداً. وهذا النمو النشط (القوي) يسبب نقصاً شديداً في المحتوى المعدني في النبات بوساطة عملية التخفيف، وبمجرد تطور السنابل بصورة كاملة فإن هناك التغيرات البسيطة تحدث في محتوى N و P و K والتي يعبر عنها النبات ككل. ولكن توجد داخل النبات نفسه تغيرات كبيرة بين الأنسجة أثناء فترة النضج، حيث تنتقل كميات عالية من Nو P من الأوراق والسيقان إلى الحبوب.

يكون التعبير عن محتوى المعدن في النبات عامة على أساس الوزن الجاف، حيث تجفف أجزاء النبات الطازجة عند درجة الحرارة 105سْ إلى حين يُفقد كل الماء فمثلاً 4 % بوتاسيوم K في المادة الجافة أو 3 ملجم (ملليجرام) فوسفور P لكل جرام من المادة الجافة (3ملجم / فوسفور / جم) أو 27 جزء في مليون منجنيز Mn في المادة الجافة. والمصطلح PPm يعني جزء لكل مليون فمثلاً 27 جزء منجنيز (بالوزن) لكل 1.00.000 جزء (بالوزن) من المادة الجافة. وأحياناً يكون استخدام ميكروجرام Mg/جرام و ug/g أو ملجم لكل كيلوجرام أكثر من الجزء في المليون (PPm).

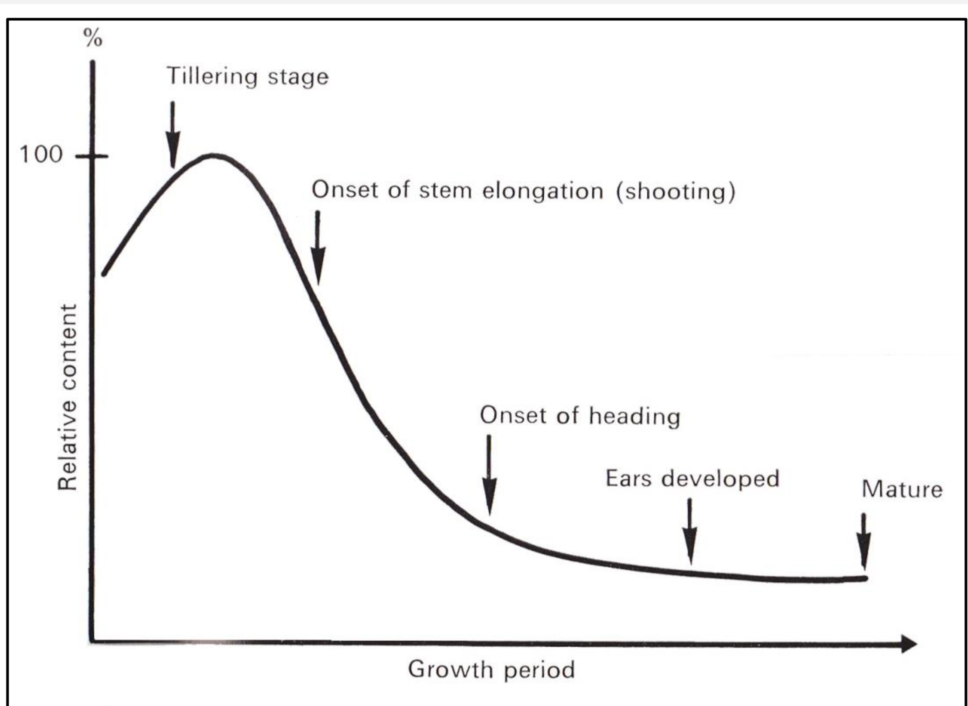


Fig. 1.6 Contents of N, P and K in oats during the course of the growing period (after SCHARRER and MENGEL [1960]).

وهذه المصطلحات الفنية تستعمل بشكل أساسي عندما تكون الكميات المقدرة صغيرة كما هو الحال في المغذيات الصغرى. وفي حالة المغذيات الكبرى، فإن المحتوى المعدني يعبر عنه عادة كنسبة مئوية أو ملجم / جم. جدول 3.1 يبين حصراً للمحتويات المعدنية لنباتات وأعضاء نباتية مختلفة. وربما يختلف المحتوى المعدني بشكل كبير تبعاً لظروف الامتصاص وعوامل أخرى تشمل تلك التي ذكرت آنفاً.

Table 1.3 Mineral content of different plant materials (Mengel [1979], p. 209)

Element	Oat tops at the tillering stage	Oat grains	Oat straw	Rape at the vegetative stage
		mg/g DM		
N	39	17	4.5	56
P	4.4	4.3	1.2	4.9
S	3.2	2.8	3.3	9.3
Cl	15	2.7	14	12
K	43	6.4	14	46
Na	5.3	0.2	3	1.3
Ca	9.4	2.2	9.0	29
Mg	2.1	1.2	1.0	2.0
Si	3.5	1.8	3.3	3.4
		ppm of DM		
Fe	74	53	85	550
Mn	130	80	50	250
Cu	7	3	2.3	7
B	6	1.1	7	35
Mo	2	1.6	1.0	–

إن استعمال المحتوى المعدني على أساس المادة الجافة يكون الأكثر ملائمة في أغراض التطبيقات العملية مثل حساب الامتصاص الكلي للمغذي لأي محصول، أو استعمال التحليل النباتي كأداة لتشخيص تيسير العناصر الغذائية المتاحة في التربة. ومع ذلك يكون التعبير عن تركيز المغذيات في النبات على أساس المادة الطازجة في صورة ملليمول (mM) أو مللي مكافئ (me) أكثر ملاءمة لاعتبارات الفسيولوجية. فمثلاً 2.5 Ca me / 100 جم مادة طازجة، وهذا يعطي التعبير المنطقي للتركيز الفعلي للعناصر في خلايا النبات.

وهذا مفيد أيضاً في حالة التعبير عن التركيز أو الجزيئات العضوية مثل الأحماض الأمينية والأحماض العضوية والسكريات. بالإضافة لذلك التعبير عن القيمة بالـ m M أوme

وعن المادة الطازجة على أساس التركيز، يسهل التعرف على العلاقات الفسيولوجية غالباً. أحد الأمثلة، هو تأثير العمر على المحتوى المعدني في الخلايا النباتية، حيث أن المحتوى المائي للمادة النباتية في الخلايا الحديثة تكون عالية بصفة عامة.

وبهذا فإن خلايا النباتات الحديثة هي غنية بالنتروجين N والفوسفور P والبوتاسيوم K وليس كما يعتقد كثير من تحليل المادة الجافة ((Jungk (1970) وضح في حالة Sinapis alba بأن المحتوى من K^+ وNo^{-3} المحسوب على أساس الوزن الطازج يبقى ثابتاً تماماً طوال موسم النمو، شريطة أن النباتات قد جهزت بكفاية من هذين المغذيين. كذلك تحتوي الثمار الطازجة والأعضاء الخازنة على محتوى مائي عالي بالمقارنة مع البذور والحبوب لذا بمقارنة المكونات المعدنية للمادة النباتية الجافة التي حصل عليها من عينات طازجة ذات محتويات مائية مختلفة جداً يجب أن تعد بعناية وحذر.

قراءات عامة:

General Reading

CLARKSON, D.T. and HANSON, J.B.: The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant. Physiol. 31, 239-298 (I 980).
EPSTEIN, E.: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto 1972
FLEMING, G .A.: Mineral composition of herbage. In 'Chemistry and Biochemistry of Herbage' (G.W. Butler and R.W. Bailey, eds.) pp. 529-566. Academic Press, London, New York, San Francisco 1973.
GAUCH, H.G.: Inorganic Plant Nutrition. Dowden Hutchinson and Ross Inc. Stroud burg, Pa. USA 1972.
HEWITT, E.J. and SMITH, T.A.: Plant Mineral Nutrition. English University Press Ltd. London 1975.
LAUCHLI, A. and BIELESKl, R.L.: Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 12, Inorganic Plant Nutrition New Series. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982 SUTCLIFFE, J. F. and BAKER, D.: Plants and Mineral Salts. Edward Arnold 1981.
WALLACE, A.: Current Topics in Plant Nutrition, Department of Agric. Sciences, U. C. L. A. Los Angeles, California, USA 1966.

الفصل الثاني

التربة كوسط مغذي للنبات

1.2 الخواص الفزيوكيميائية المهمة

1.1.2 بوجه عام

التربة هي مادة غير متجانسة الخواص، تتألف من ثلاث مكونات رئيسية، وهي الطور الصلب والطور السائل والطور الغازي وتؤثر كل هذه الأطوار الثلاثة خاصة في إمداد جذور النباتات بالمغذيات، يمكن اعتبار الطور الصلب كمخزن رئيسي للمغذيات. حيث أن الجزيئات غير العضوية للطور الصلب تحتوي على مغذيات كاتيونية مثل K و Na وCa و Mg و Fe و Mn و Zn و Co، بينما الجزيئات العضوية لهذا الطور السائل للتربة (محلول التربة) مسؤولة بالدرجة الأولى عن انتقال المغذيات التي في التربة؛ وعلى سبيل المثال انتقال المغذيات من أجزاء التربة المختلفة إلى جذور النباتات. وتوجد المغذيات المتنقلة في الطور السائل في الصورة الأيونية، ولكن غاز الأكسجين O_2 وغاز أكسيد الكربون CO_2 يذوبان أيضاً في محلول التربة. ويتوسط الطور الغازي للتربة في التبادل الغازي يحدث بين مختلف الكائنات الحية في التربة (جذور النباتات)، والبكتيريا، والفطريات، والحيوانات والغلاف الجوي وينتج عن هذه العملية إمداد الكائنات الحية في التربة بالأكسجين O_2 والتخلص من ثاني أكسيد الكربون CO_2 المنتج عن طريق عملية التنفس من الغلاف الهوائي للتربة، تكون المغذيات متداخلة مع بعضها في أطوار التربة الصلب والسائل والغازي. وأخذت هذه العلاقات وتأثيراتها على تيسير وروعيت بتفصيل أكثر في هذا الفصل.

2.1.2 التبادل والادمصاص الكاتيوني

جزيئات التربة الضرورية في الغالب تكون سالبة الشحنة، وتنشأ الشحنة السالبة

على سطوح معادن الطين نتيجة لعملية الإحلال المتماثل (Isomorphous aeplacement) للكاتيونات في الصفائح البلورية، حيث تستبدل الكاتيونات الثلاثية التكافؤ بالكاتيونات الثنائية التكافؤ. والشحنات السالبة تنتج أيضاً من انفصال H^+ من الأحماض الضعيفة. وهذه مهمة جداً في إنتاج مواضع ذات شحنات سالبة على الجزيئات العضوية للتربة.

إن سطوح جزيئات التربة المختلفة ذات الشحنات السالبة تجذب الكاتيونات مثل Ca^{2+} و Mg^{2+} وK^+ وNa^+ وكذلك Al^{3+} و Mn^{2+} اليها والادمصاص الالكتروستاتيكي Electrostatically للكاتيونات على سطوح حبيبات الطين السالبة الشحنة المنتشرة في المحلول الالكتروليتي تتعرض إلى القوة الأيونية الداخلية (الكولوم) والقوة الحركية حيث تربط القوة الأيونية الداخلية الكاتيون بإحكام على سطح الطين.

ومن ناحية أخرى تنقل القوة الحركية في صورة الحركة الحرارية الكاتيونات من على السطح. وكمحصلة لهاتين القوتين نشأ تدرج جهد كهربائي قريباً من سطح الطين. ينتج عن هذا الاتزان توزيع أيوني مميز بين الصفائح الطين والكاتيونات المتبادلة والمحلول الحر (شكل 1.2). في المنطقة المجاورة مباشرة للسطوح السالبة الشحنة يكون تركيز الكاتيونات عالياً ويكون تركيز الأنيونات تقريباً صفراً والتي تعرف في بعض الأحيان بطبقة الصلدة سترن (Stern layer). حيث يقل تركيز الكاتيون بسرعة في البداية بزيادة المسافة من سطح الغرويات، وبعد ذلك يقارب (يساوي) المحلول الحر حيث يكون تركيز الكاتيون والأيون متساوياً.

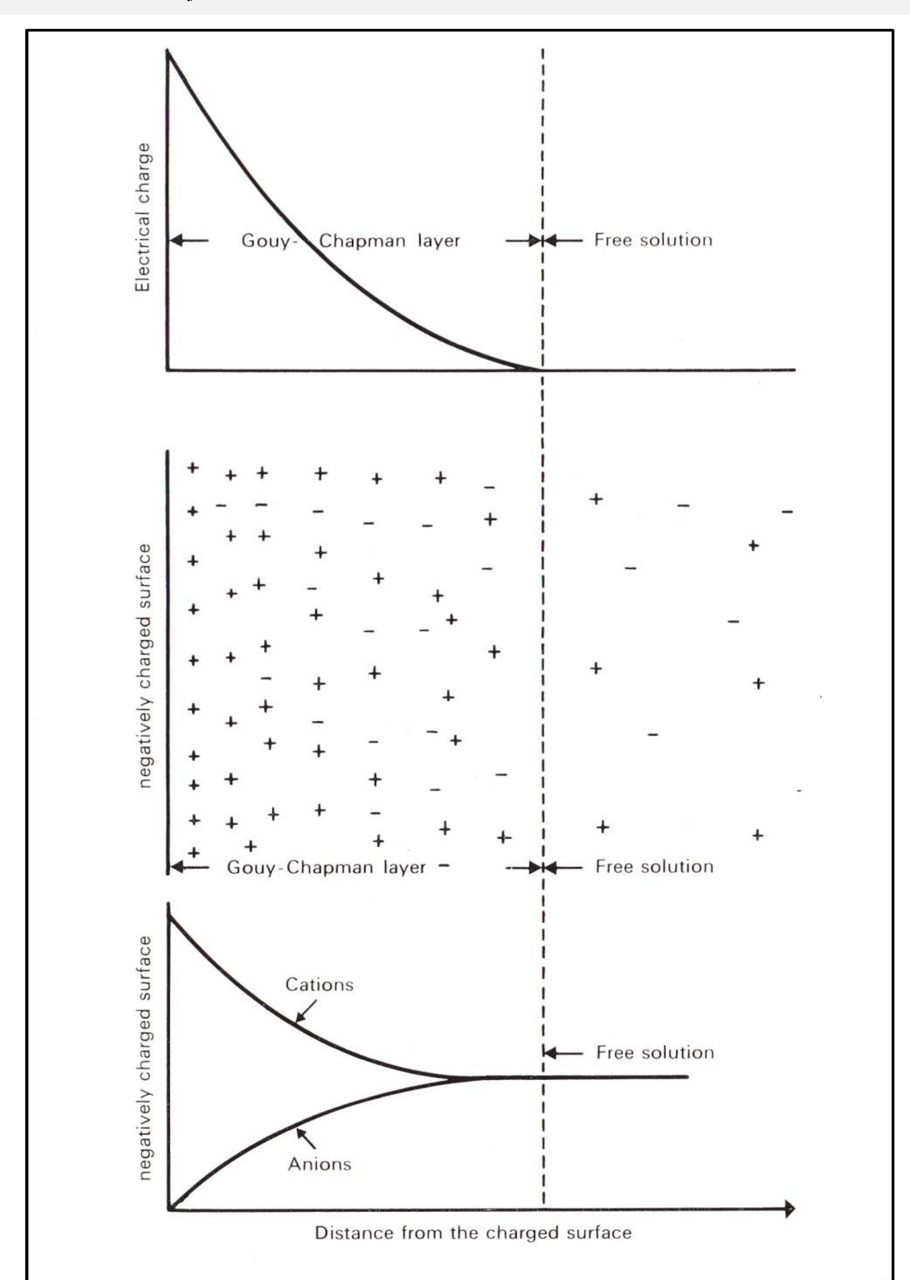


Fig. 2.1 Decline of the electrical field with increasing distance from a charged surface and the resulting ion distribution pattern (GOUY CHAPMANN-model).

وبالطريقة التبادلية يزداد تركيز الأيون من السطح إلى المحلول الخارجي. وهذه التأثيرات موضحة في الجزء السفلي من الشكل 1.2 تحتوي الطبقة الثنائية المزدوجة الموضحة أعلاه والتي تمتد من السطح السالب الشحنة حتى المحلول الحر على الكاتيونات الزائدة، والتي تعرف بالطبقة Gouy-Chapman منا وصفها الباحثان Gouy (1910) , Chapman (1913). ويشار إليها في بعض الأحيان بالطبقة الانتشار، وغالباً يكون سمكها من سطح الطين إلى المحلول الحر حوالي 5 – 10 nm.

التوازن بين الطبقة الانتشار المزدوجة والمحلول الحر يكون في حالة ديناميكية وذلك فإن الأيونات الموجودة تكون في تبادل سريع ومتوازن مع الأيونات الموجودة في طبقة Couy-Chapman. وعندما يخفف تركيز المحلول فإن بعض الأيونات من الطبقة الانتشار المزدوجة تنتشر إلى المحلول الحر مؤدية إلى إقامة توازن جديد.

ومع التخفيف المستمر فإن هذا يؤدي في النهاية إلى نقطة يكون عندها المحلول الخارجي خالياً من الأيونات وتكون الكاتيونات الكلية المدمصة على السطح مكافئة لشحنات السطح السالبة. وتحدث هذه العملية عندما يغسل مبادل كاتيوني مُحمّل بمحلول ملحي بالماء، فيتم غسل المبادل الأيوني من الكاتيونات والأنيونات الفائضة وفي النهاية تحجز الكاتيونات فقط والتي تكون مكافئة للشحن السالبة للسعة التبادلية للمبادل الأيوني.

الكاتيونات المدمصة بالطريقة الموضحة أعلاه يمكن أن تستبدل بأنواع أخرى من الكاتيونات. وغالباً ما تحدث هذه العملية العكسية في التربة بين الطور السائل والطور الصلب وتسمى بالتبادل الكاتيوني. إن أساس هذه العملية التبادلية التي تسمى

Stoichometric (اتحاد عنصري) في الشكل (2.2) حيث يستبدل أيون واحد من الكالسيوم بأيونين من البوتاسيوم. وبصفة عامة كل أنواع الكاتيونات يمكنها أن تستبدل مع بعضها بعض بهذه الطريقة ولكن درجة استبدال كاتيون مكان آخر تعتمد على قوة مسك الكاتيون المدمص. وطبقاً لقانون كولومبس تكون الرابطة الأيونية الداخلية أقوى عندما يكون موقع المشاركات أقرب. وتتباين عكسياً بقدر مربع المسافة بين الشحنات كذلك بقوى الارتباط وبزيادة شحنة الأيونات. وهذا يعني بأن الكاتيونات الثلاثية التكافؤ ترتبط بقوة أكثر من الكاتيونات ثنائية التكافؤ، والتي بدورها ترتبط بأحكام أكثر من الكاتيونات أحادية التكافؤ، وتزداد الأفضلية مع ازدياد التخفيف النظام وارتفاع كثافة الشحنات للطين وإضافة إلى ذلك فإن درجة اتحاد الأيون بالماء تؤثر أيضاً في قوة الارتباط، حيث لا تستطيع الكاتيونات المتميأة أن تنجذب بإحكام إلى سطوح الطين السالبة الشحنة نظراً لوجود غلافها المائي. الكاتيونات الصغيرة يكون لها أغلفة سميكة بسبب كثافة شحنها العالية، ولهذا لا ترتبط بأحكام إلى جزيئات الطين. يبين جدول 1.2 أقطار العديد من الكاتيونات والصورة المتميأة وغير المتميأة. لا توافق أيونات الايدروجين قواعد حجم الأيون والتميؤ لأنها تحفز على تحطيم الطين والذي يتبعه تحرير Al^{3+}. وبهذا يظهر بأن H^{+} يتعرف كالكاتيونات الثلاثية التكافؤ بسيطة التميؤ.

تستطيع أنواع الكاتيونات التي يكون فقط أدمصاصها ضعيفاً أن تتبادل بسهولة والعكس بالعكس. لذا فإن قدرة الإحلال النسبي لأنواع كاتيونية معينة تعتمد على قوتها في الارتباط والسلسلة الآتية لقوة الإحلال النسبي التي وضعها الباحث

Hofmeister (Hofmeister cation sequence).

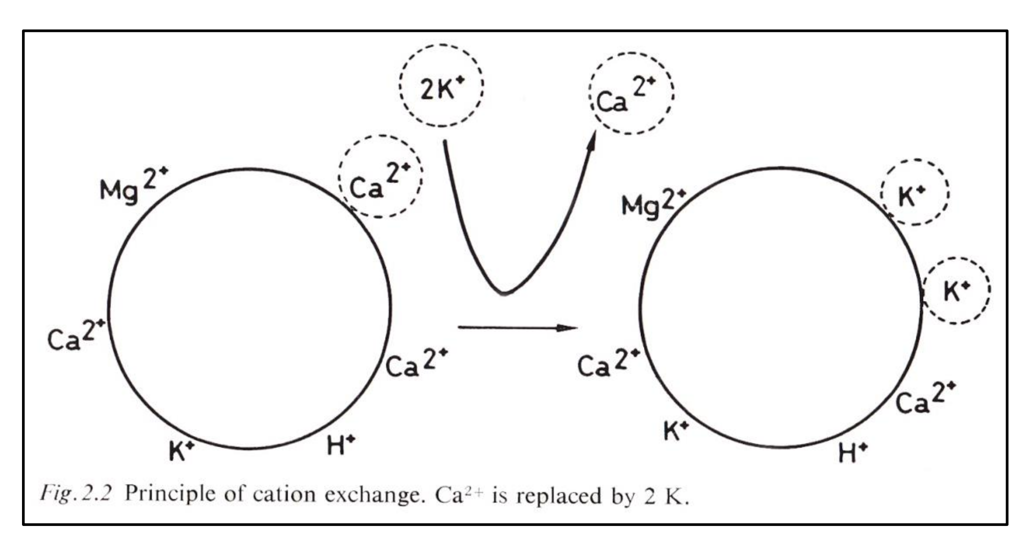


Fig. 2.2 Principle of cation exchange. Ca^{2+} is replaced by 2 K.

Table 2.1 Diameter (nm) of hydrated and non-hydrated cations

	hydrated	non-hydrated
Rb^{+}	0.51	0.30
K^{+}	0.53	0.27
NH_4^{+}	0.54	0.29
Na^{+}	0.76	0.20
Li^{+}	1.00	0.15
Mg^{2+}	0.64	0.16
Ca^{2+}	0.56	0.21

$Li^{+} < Na^{+} < K^{+} < Rb^{+} < Cs^{+}$

$Mg^{2+} < Ca^{2+} < Sr^{2+} < Ba^{2+}$

$\longrightarrow$

زيادة قوة الإحلال النسبي

تناقص في درجة التميؤ (الاتحاد بالماء)

لا يمكن تصميم تطبيق هذه القاعدة لأن تركيب معادن الطين يؤثر أيضاً على قوة الارتباط. وهذا يكون صحيحاً مع ادمصاص K^+ بحث Schaohrschabel (1940) ، في تحرير NH_4^+ من مختلف المعادن باستعمال مختلف الكلوريدات ولاحظ سلسلة التتابع التالي تبعاً لسهولة إزاحة الكاتيونات.

Kaolinite	$Na^+ < H^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}$
Montmorillonite	$Na^+ < K^+ < H^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}$
Micas	$Na^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < K^+ < H^+$
Humic acid	$Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < H^+$

زيادة سهولة الإزاحة النسبية للأمونيوم

وهذا المثال يبين بأن الميكا ادمصت K^+ بالقوة الأكثر من المتوقعة بوساطة تكافؤه ودرجة التميؤ. وبنفس الطريقة تستطيع أيضاً معادن الطين 1:2 الأخرى (مثل الاليت والفرميلوليت) ادمصاص K^+ بخصوصية أكثر. وروعيت هذه بتفضيل أكثر في 2.1.3.

إن قوة الإحلال النسبي لنوع كاتيون بأخر لا تعتمد فقط على طبيعة الأنواع الكاتيونية موضع التساؤل بل تعتمد أيضاً على التركيزات أو بشك أكثر دقة على نشاطات الأيونات الموجودة.

وللتبسيط يؤخذ تركيزات الأيونات في الاعتبار ولكن يجب أن نتذكر بأن نشاط الأيونات يطبق أكثر من التركيز في تفاعلات وفي ظروف الاتزان بين الأيونات المدمصة والحرة. فعندما تكون التركيزات الأيون منخفضة فإنها تقترب من نشاطاتها ولكن عند

التركيزات العالية يحدث انحراف عن السلوك المتوقع في المحاليل المثالية.

وعلى سبيل المثال فإن الضغط الاسموزي يكون أقل من المتوقع باستعمال التركيز. ومثل هذا الانحراف ينتج بسبب قوى جزيئات الأيونات الداخلية وتكوين الأيونات المرتبطة في المحلول تحت ظروف التركيز المرتفع. ولهذا يتم تصحيح باستعمال قيمة معامل النشاط (Activity coetticient) والتي تكون دائماً أقل من واحد.

ويعبر عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية:

$$a = F.C$$

حيث أن:

- a= النشاط الأيون.
- C = تركيز الأيون.
- F = معامل النشاط.

ومعامل النشاط يقل كلما زادت القوة الأيونية للمحلول.

تأثير زيادة النشاط أو التركيز على إحلال أنواع كاتيونية محل أخرى يمكن تؤخذ في الاعتبار بالرجوع إلى نظام بسيط تشبيع حُبيبة غروية تشبيعاً كاملاً بنوع كاتيوني واحد ويجري استبدال عن طريق زيادة تركيز نوع كاتيوني آخر في المحلول.

إذا كان K^+ هو الكاتيون الذي يشبع به الغروي أصلاً والـ Ca^{2+} هو الأيون الذي يحل محل K^+ . فإن العلاقة بين أدمصاص Ca^{2+} وانفصال K^+ ونشاط الـ Ca^{2+} يمكن تمثيلها كما في الشكل (3.2) يتضح بأن أدمصاص الـ Ca^{2+}. الحر يزداد بزيادة تركيزه أو نشاطه في

صورة منحنى التشبع أو التبادل. ويمكن أن يوصف هذا بطريقة أخرى، بالقول بأن قوة إحلاله تزداد بانخفاض تركيز الأيون التبادلي بالعلاقة مع تركيزه، وهذه العلاقة بين النشاط أو التركيز والادمصاص المنعكسة في منحنى التقارب (Asymptatic cueve) الموضح تكون قابلة للتطبيق على عمليات أدمصاص الكاتيونات.

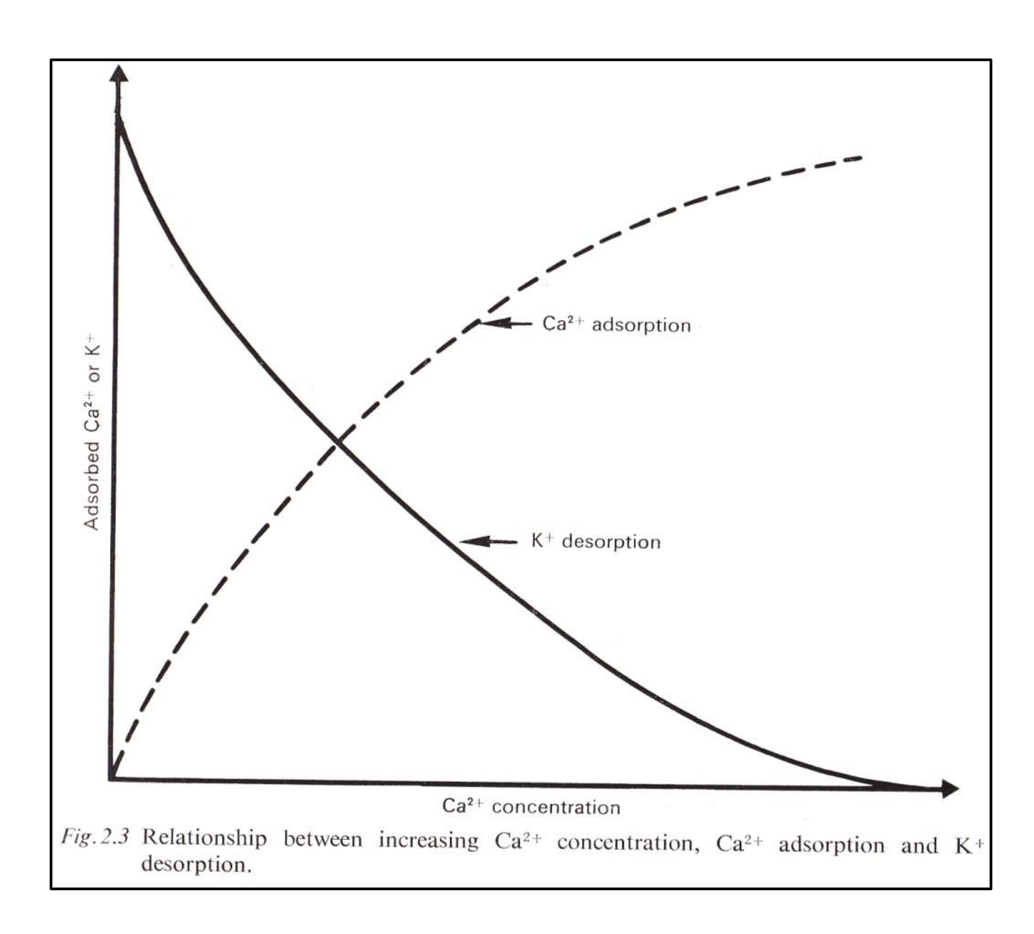


Fig. 2.3 Relationship between increasing Ca^{2+} concentration, Ca^{2+} adsorption and K^+ desorption.

وفي المثال الذي ذكر آنفاً، نجد أن الكاتيون الأحادي (K^+) قد حل محله الكاتيون

الثنائي (Ca^{2+}) وبصورة أخرى فإن الكاتيون المرتبط بقوة أقل (K^{+}). عمليات التبادل أيضاً تحدث وذلك عندما يحب محل لأنواع الكاتيونات المدمصة بقوة أكبر بأنواع الكاتيونات المدمصة بقوة أقل في المتوسط. حدوث مثل هذه التبادلات يرجع إلى الحقيقة نتيجة أن القوى الحركية والاستاتيكية الكهربائية هي أيضاً تؤثر (تعمل) على الأيونات. وكما شُرحت سابقاً، بأنه لا توجد مواقع أد مصاص خاصة على السطوح المشحونة. وأن قوة ارتباط نوع الكاتيون تعتمد على تكافؤه ودرجة تميؤه. ويكون هذا صحيحاً إذا أخذ في الاعتبار السلوك الوسطي لعدد كبير من الأيونات وهي الحالة المعتادة غالباً. ولكن تعتمد قوة الإحلال النسبي لأيون بمفرده على طاقته الحركية. وهذه ليست الحالة نفسها لكل أيونات الأنواع المعطاة. حيث أن توزيع الطاقة يتبع منحنى ما كسويل Max well لتوزيع الطاقة عندما يوجد عدد كبير من الأيونات، وهذا يعني بأن لكل أنواع الكاتيونية يوجد جزء صغير منها يسمى كاتيونات الطاقة العالية والتي تأخذ مكاناً في تفاعلات التبادل غير المفتوحة لمعظم الأيونات الأخرى. يكون توزيع طاقة الكاتيونات في عمليات التبادل الكاتيوني ذا أهمية خاصة فهي تمكنّ من إحلال الكاتيونات ذات الارتباط القوي بالتي يكون ارتباطها في المتوسط ضعيفاً. لذا فإن كاتيوناً أحادي التكافؤ، والعالي التميؤ مثل الصوديوم الذي يكون البعض منه موجوداُ دائماً عند المستوى العالي للطاقة الكافي ليحل محل Ca^{2+}. ولكن على معدن الطين أو المبادل الأيوني يحتاج إلى كميات كبيرة لأنواع الكاتيونية ذات الارتباط الضعيف للحصول على إحلال كامل لكاتيون مرتبط بقوة وهذا هو الأساس في تحديد كاتيونات الإحلال. لذلك فإن كاتيونات الطاقة العالية تكون موجودة بزيادة أيضاً. في هذا السياق يجب أن نذكر

بأن الكاتيونات لا ترتبط بأحكام بالسطح ولكن توجد كطبقة الانتشار تُسهل عمليات التبادل معتمدة على مستوى الطاقة الفردية للكاتيونات.

يمكن أن تختلف التربة كثيراً في مقدرتها على ادمصاص الكاتيونات، وهذه تسمى بالسعة التبادلية الكاتيونية Cation excharqe capacity (CEC)، وهي مقياس للشحنة السالبة الكلية لأية تربة ويعبر عنها بالمكافئات أو بشكل أدق بالمليمكافئ لكل 100 جرام تربة، يعرف المليمكافئ (me) بأنه الوزن الذري لجرام واحد أيدروجين أو كمية عنصر ذري أخر يتحد معه أم يحل محله. ستكون 39 مللجرام في حالة K^+، حيث أن الوزن الذري للبوتاسيوم هو 39 تكافؤ يساوي واحدً (أحادي التكافؤ) أي يستطيع K^+ واحد التبادل مع H^+ واحد. بالنسبة لكالسيوم Ca^{2+} (الوزن الذري= 40) وتكون 20 ملجرام Ca هي القيمة المماثلة، حيث أنها تحتاج إلى اثنين H^+ لتحل محل Ca^{2+} واحد. لذا فإن 100 جرام تربة تدمص بها الأيونات الآتية:

1 ملليمكافئ Na، 1 ملليمكافئ K^+ ، 20 ملليمكافئ Ca^{2+} ، 5 ملليمكافئ H^+ يكون من الواضح بان كل هذه أيونات يمكن استبدالها بالجمع المعبر عن H^+= 29 ملليمكافئ. وفي التطبيق يمكن تقدير هذه القيمة بدون تحديد العنصر بذاته، وعادة يستخدم ملليمكافئ (me) في تحليل التربة.

تقسم الكاتيونات المتبادلة إلى قسمين على أساس أنها قاعدية أو حامضية، وتضم الكاتيونات القاعدية Na^+ و K^+ و Mg^{2+} و Ca^{2+} والكاتيونات الحامضية هي H^+ و Al^{3+} لذا:

$$EA + TEB = CEC$$

حيث أن:

CEC= السعة التبادلية الكاتيونية ملليمكافئ / 100 جرام تربة.

TEB= القواعد المتبادلة الكلية 100/ جرام تربة (Na^+ و K^+ و Mg^{2+} و Ca^{2+}).

EB= الحامضية المتبادلة ملليمكافئ / 100 جرام تربة (H^+ و Al^{3+})

يستعمل فذ بعض الأحيان مصطلح النسبة المئوية للتشبع القاعدي ويمثل هذا القواعد المتبادلة الكلية معبر عنه كنسبة مئوية للسعة التبادلية الكاتيونية.

يتثبت نظام التربة أكثر بزيادة نسبة الطين في التربة، ولهذا السبب تزداد أيضاً المساحة السطحية الكلية لحبيبات التربة، وهذا يعني بأن الترب الغنية بمعادن الطين تكون قادرة على إدمصاص الماء والكاتيونات أكثر من الترب الفقيرة في الطين. التربة الغنية بالطين لها سعة تبادلية كاتيونية ومقدرة للاحتفاظ بالماء أعلى من الترب الفقيرة في الطين وقد تختلف قيم سعة التبادلية الكاتيونية اختلافاً واضحاً إلى حد ما يقدم (1974) Baady قيماً من 200 ملليمكافئ / جم ف الرمل إلى 57.5 ملليمكافئ / 100 جرام في التربة الطينية، والقيم الشائعة تكون بين 10 – 20 ملليمكافئ / 100 جم تربة.

3.1.2 معادلة جابون (Gapon equation)

هي إحدى المعادلات المشهورة، والتي تصف كمية علاقة الكاتيونات التبادلية الأحادية والثنائية التكافؤ ([1933] Gapon). ويمكن توضيحها بالآتي:

$$\frac{C^{+}_{ads}}{C^{2+}_{ads}} = k\ \frac{a_c{}^{+}}{\sqrt{a_{c^{2+}}}}\ ;$$

$$\frac{a_c{}^{+}}{\sqrt{a_{c^{2+}}}} = AR$$

حيث أن:

C^{+} ads و Ca^{2+} ads = الكاتيونات الأحادية والثنائية المدمصة.

$a\ C^{2+}$ و $a\ C^{+}$ = نشاط الكاتيونات الأحادية والثنائية (مول / لتر) على التوالي.

AR = نسبة النشاط = نسبة النشاط لنوعين من الكاتيونات في المحلول المتوازن. وتكون نسبة الكاتيون الأحادي التكافؤ على الجذر التربيعي لنشاط الكاتيون التكافؤ للنوع الكاتيوني أحادي والثنائي التكافؤ.

وهذه المعادلة تمكن نسبة كميات الكاتيونات المدمصة لتكون ذات صلة بالنسبة النشاط. يكون ثابت K مقياساً للادمصاص C^{+} بالمقارنة بـ C^{2+}. ومثال على ذلك C^{2+}/K^{+} أو Mg^{2+}/K^{+} لأي نظام تبادل فإن البوتاسيوم K يكون ثابتاً في حدود، واستعمل باحثون مختلفون المعادلة لوصف العلاقات الكمية بين الكاتيونات في صور مدمصة ومحلول الاتزان ([Bolt 1955 و Layerweff, Bolt1959 و Ehlers وآخرون [1968]). إن استعمال مختبر الملوحة الأميركي لمعادلة جابون كتعبير عن التبادل الكاتيوني في أبحاث التربة المالحة والقاعدية يدل كذلك بأن المعادلة مقبولة جداً (لتوقع) الأيونات المدمصة وتركيب المحلول لهذه الترب ((Fried and Baoeshart (1969). (لتقدير).

واعتبرت أصلاً بأنه يجب أن يكون K^+ ثابتاً. ومع ذلك فقيمته تعتمد على عدد من العوامل، التي تشمل درجة تشبع الكاتيون للمعادن الطين وكثافة شحنتها ([1962 Schwertmaan)، وتأثر القيمة أيضاً بتركيب معادن الطين ووجود مواقع ربط الخاصة. وهذه المواقع ذات علاقة خاصة لربط K^+ وHN^{4+} بمعادن الطين 1:2، على سبيل المثال عندما يكون K^+ بالخصوص مدمصاً. فإن ثابت معادلة جابون التبادل C^{2+}/K^+ وMg^{2+}/K^+ يكون عالياً (أنظر 3.1.10). وبسبب المؤثرات الموضحة أعلاه، فإن K في الحقيقة ليست ثابتة، ولذا فإن المعامل الانتقائي (Selectivity cofficient) أو معامل جابون استعملا أيضاً في وصف K.

مفاهيم أخرى يمكن إدراكها من معادلة جابون، وهذه يمكن توضيحها بالرجوع إلى مثال عددي بسيط.

إذا كان في المعادلة نوعان من الكاتيونات C^+ و C^{2+}، وكانت على التوالي Na^+ و Ca^{2+} بتركيز $Na^+ = 1\times10^{-3}$ مولر و $Ca^{2+} = 3.6\times10^{-3}$ وستقرأ المعادلة:

$$\frac{Na^+_{ads}}{Ca^{2+}_{ads}} = k\,\frac{1\cdot10^{-3}}{\sqrt{3.6\cdot10^{-3}}} = k\,\frac{10\cdot10^{-4}}{\sqrt{36\cdot10^{-4}}} = k\cdot\frac{1}{60}$$

Na^+ads= الـ N^+ المدمص.

$Ca^{2+}ads$= الـ .Ca^{2+} المدمص.

نسبة التغير في تركيز الكاتيونات في محلول الاتزان فإن:

$Na = 2\times10^{-3}$ مولر و$Ca^{2+} = 14.4\times10^{-3}$ (أي بمضاعفة الكاتيونات الأحادية

التكافؤ، وضرب قيم تركيز ثنائية التكافؤ في4) التي لا تغير الجانب الأيمن من المعادلة:

$$\frac{2\cdot10^{-3}}{\sqrt{14.4\ 10^{-3}}}=\frac{2\cdot10^{-3}}{\sqrt{144\cdot10^{-4}}}=\frac{2\cdot10^{-3}}{12\cdot10^{-2}}=\frac{1}{60}$$

استعمال الأنشطة أكثر من التركيزات يكون أدق في هذا المثال البسيط ومع ذلك فإن الاستنتاج الأساسي يبقى هو نفسه أي أن لكاتيونات المختلفة للكاتيونات في محلول الاتزان تكون مرافقة لكاتيونات المدمصة بنفس النسبة. وطور الباحث (Schotied [1947]) هذا الاكتشاف وسمي بقانون النسبة وكتب Schotield: عندما تكون الكاتيونات في حالة اتزان في المحلول نع عدد كبير من الأيونات المتبادلة فغن التغير في تركيز المحلول لا يسبب في اضطراب الاتزان إذا تغيرت تراكيز الأيونات الأحادية التكافؤ بنسبة واحدة. وبالتربيع لهذه النسبة لكل الأيونات الثنائية وبتكعيب هذه النسبة لكل الأيونات الثلاثية التكافؤ.

4.1.2 أدمصاص الأنيونات

تكون سعة ادمصاص الأنيونات لمعظم الترب الزراعية ضعيفة نسبياً، بالمقارنة مع سعة ادمصاص الكاتيونات. ومع ذلك فالعديد من معادن التربة، وأيضاً غرويات التربة غير المتبلورة تكون قادرة على امتصاص الأنيونات بقوة شديدة مثل هيدروكسيدات الحديد وأكاسيد الألمونيوم (الهيماتيت Hematite والجيوثيت Geothite والجننسيت Gibbsite وهيدروكسيدات غير متبلورة)، معادن الطين 1:1 ومعادن الطين 2:1 والمعقدات AlOH وFeOH مواقع مهمة بصورة خاصة لإدمصاص الانيونات التي تحدث لكل من المعقدات

العضوية والمعدنية، مثل حامض الهيميك وحامض الفالفيك. التربة الغنية بأيردوكسيدات (Hydrous oxides) ذات مساحات السطحية المرتفعة تكون فعالة بصورة خاصة في إدمصاص الأنيون.

نوعان من الادمصاص يمكن التمييز بينهما. التبادل بالـ Ligand مع مجموعات هيدروكسيل OH وادمصاص بروتونات ([1978] Parfitt) ويمكن توضيح هذا النوع من التبادل بصورة بسيطة بهذه المعادلة:

$$Me - OH + An^- \leftrightarrows Me - An + OH^-$$

يبدو أن امتصاص مجموعة أكاسيد الحديد Fe بكل من الفوسفور والكبريت يكون صورته بسبب الرابطة السطحية الثنائية النواة الأكثر من الأحادية إلى حدٍ ما ([1978] Parfitt abd Smart [1972] Atkinson <u>et</u> <u>al</u>). في هذا التفاعل ذرتين من الحديد Fe تضمنتها عملية إدمصاص أيون واحد من الفوسفور مكونة معقد فوسفور ثلاثي الحديد. كما هو موضح أدناه.

$$\begin{matrix} | \\ Fe \\ | - OH \\ Fe - OH \\ | \end{matrix} + \begin{matrix} HO \diagdown & & {}^{\diagup\!\!\diagup} O \\ & P & \\ {}^{-}O \diagup & & \diagdown OH \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} | \\ Fe - O \diagdown & & {}^{\diagup\!\!\diagup} O \\ | & P & \\ Fe - O \diagup & & \diagdown OH \\ | \end{matrix} + OH^- + H_2O$$

والنوع الثاني لآلية الادمصاص، بأن الادمصاص إلى المجموعات البروتونية يحدث تحت ظروف PH المنخفضة. حيث يمكن أن تصبح مجاميع الهيدروكسيل OH موجبة الشحنة، مما

يسمح للادمصاص الأيوني بالتفاعل الكتروستاتيكي.

$$Me\ OH + H^{+} \rightarrow Me\ O{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}}\Big]^{+}$$

$$Me\ O{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}}\Big]^{+} + An^{-} \rightarrow Me\ O{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}}\Big]^{+} An^{-}$$

تعتمد عمليتا المعقد العضوي (Ligand) وProtonation بشدة على الرقم الهيدروجيني وتعزز عندنا يكون تركيز H^{+}. وتوجد أعلى سعة تبادلية في التربة الحامضية الغنية بالاكسيدات المائية للحديد والأمونيوم أو بالمعادن الطين أو كلتاهما.

تختلف آلية إدمصاص الأنيون الموصوفة أعلاه في التخصص الأنيوني. فعملية إدمصاص الأنيون إلى المجاميع البروتونية (الموجبة) تتضمن بشكل كبير التداخل الالكتروستاتيكي، وهذه في الغالب تكون غير متخصصة (غير نوعية). ومن ناحية أخرى يرتبط تبادل المعقد العضوي (Ligand) مع التداخل الكيميائي الذي يصبح بها الأيون متناظراً للأيون المعدني، ولهذا السبب يكون التخصص الأيوني أكثر. التخصص الواضح للأنيونات في تفاعلات تبادل المعقد العضوي يكون مسؤولاً عن الاختلاف الملحوظ في سعة إدمصاص التربة لأنيونات معينة.

الفوسفور الذي يدمص بكثرة تبادل المعقد العضوي Ligand، هو إدمصاص أنيوني قوي جداً. ومن ناحية أخرى فإن النترات والكلور التي يلعب فيها تبادل المعقد العضوي

Ligand دوراً بسيطاً فإن هذه الأنيونات تكون فقط ضعيفة الادمصاص. أعطى (Profitt , 1978) الترتيب الانتقائي المحتمل الإدمصاص للأنيونات بالتربة كالآتي:

الفوسفات > الزرنيخات > سلينيت = المولبيدات > كبريتات= الفلوريد > الكلور > نترات

وهناك أيونات أخرى لم تذكر آنفاً يمكن أن تشترك في التفاعلات التبادلية. حيث تحت ظروف الـ PH العالية يمكن لحامض البوريك والحامض السليكي تكوين أنيونات

$$H_3BO + H_2O \rightarrow B(OH)_4^- + H^+$$

$$H_2SiO_3 + H_2O \rightarrow H3SiO_4 + H^+$$

بالإضافة لذلك يمكن لبعض الأنيونات تنافس أيضاً في الادمصاص. تستعمل معادلة Langmuir كثيراً لتوضيح العلاقات الكمية في ادمصاص الأنيون. ويعبر عن هذا رياضياً كما يلي:

$$\frac{A}{A_{max}} = \frac{K \cdot c}{1 + Kc}$$

A= كمية الأيونات المدمصة.

A_{max}= امتصاص الأقصى.

C= تركيز المحلول.

K= ثابت له علاقة بطاقة الأدمصاص وتزداد قيمته بزيادة قوة الادمصاص.

ووضحت العلاقة بيانياً في الشكل 4.2 ولم تمثل المعادلة تماماً للادمصا الأيوني بجزيئات التربة حيث أن نموذج Langmuir مشتق لادمصاص طبقة واحدة من الغاز على سطوح صلبة. وتتدخل كل من الجزيئات المشحونة والسطوح المشحونة في إدمصاص

الأيونات. وعملية الادمصاص الإضافية تكون مرتبطة بالتفاعلات الكيميائية ويعتمد الادمصاص أيضاً على الرقم الهيدروجيني وحالة الملح حيث أن كلا العاملين يؤثران على A_{max} و K (Bowden et al 1977) وكمقياس تقريبي فإن معادلة Langmuir تعتبر أداة للتحديد الكمي لعمليات الادمصاص الأيوني، ولقد استعملت عن طريق العديد من الباحثون منهم (Halford and Mattingly, 1975) الذين درسوا إدمصاص الفوسفات على أسطح الكالسيت (Calcite).

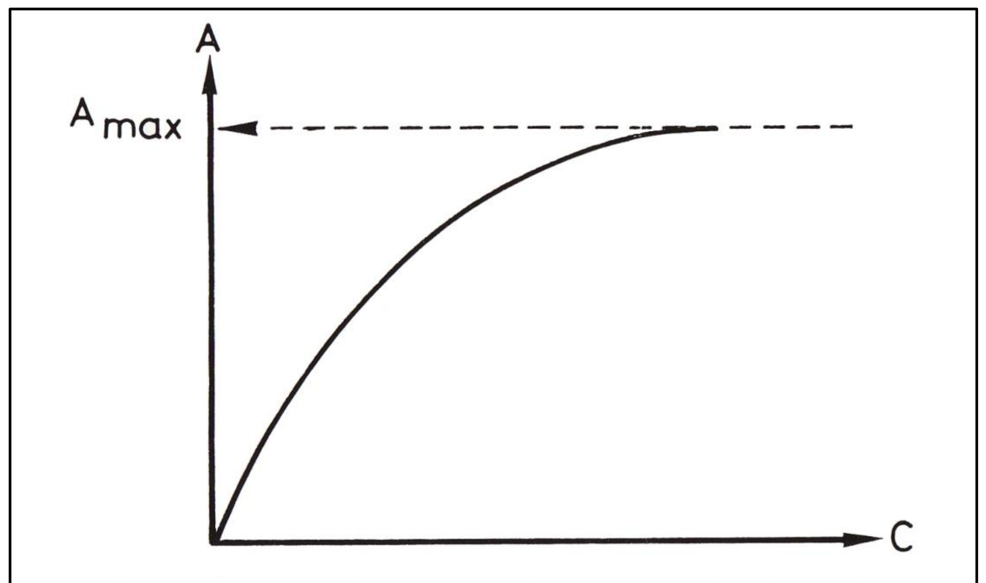


Fig. 2.4 Relationship between solution concentration (c) and adsorption (A) according to the Langmuir equation.

5.1.2 ادمصاص الماء

الجزيئات ثنائية القطب هي كذلك تكون مرتبطة (مقيدة) بالأسطح. ولكن القوى

التي تُحدث الادمصاص وهي قوى Vander Waal's. وعليه فإن هذا النوع من الادمصاص يختلف اختلافاً أساسياً عن إدمصاص الكاتيونات والأيونات على الأسطح المشحونة. حيث أن ادمصاص الجزيئات ليس مرتبطاً بقوة. ولهذا لا يوجد تكافؤ بين السطوح المشحونة وكمية الجزيئات المدمصة، ويدل هذا على غياب التبادل الكمي بين الجزيئات الحرة والمدمصة. ومثال على هذا النوع قد سبق ذكره في ادمصاص جزيئات الماء بوساطة الأسطح المشحونة في التميؤ الأيوني. أنظر 2.1.2

والمثال الأكثر أهمية لهذا النوع من الادمصاص، هو ادمصاص الماء إلى العديد من الحبيبات مثل معادن الطين أو المادة العضوية في التربة أو المركبات البروتينية في الخلايا. جزيء الماء غير المتماثل هو جزيء ثنائي القطب ولها منطقة أو جهة سالبة مرتبطة مع ذرة الأوكسجين، ومنطقة أو جهة موجبة مرتبطة بذرات الأيدروجين. الأسطح السالبة الشحنة، مثل الموجودة على معادن الطين تجذب المواقع الموجبة لجزيئات الماء وترتطبهما بقوة على أسطحها. لذا فإن الطبقة الجزيئية الأحادية الأولى المدمصة من جزيئات الماء تعّري سطح آخر مشحون بالشحنة السالبة. وهذه تجذب جزيئات أكثر مكونة سلسلة من الطبقات لجزيئات الماء على سطح الطين. وتكون طبقة الماء الملامسة مباشرة للسطح مرتبطة بقوة أكثر. حيث تقل قوة الادمصاص بزيادة المساقة بين طبقة الماء وسطح الادمصاص.

الأغلفة المائية المتكونة بالطريقة التي وضحت أعلاه ترتبط بقوة إلى حبيبات التربة وإلى الخلايا الحية. والضغط الذي يمسك أو يربط طبقة الماء الأحادية الأولى بسطح الادمصاص تكون حوالي 10^{-3} إلى 10^{-3} بالبار (Bar).

الادمصاص الجزيئي للماء يعتمد على درجة الحرارة. حيث بارتفاع درجة الحرارة، تزداد الطاقة الحرارية التي يمكن انتقالها إلى الجزيئات المدمصة. وبارتفاع درجة الحرارة تقل لنقطة والتي عندها تصبح مرتفعة بما فيه الكفاية لفصل جزيئات من سطح الادمصاص إلى طور البخار (الغازي). وهذه أحد الأسباب التي يعزى إليها جفاف التربة بسرعة أكثر تحت ظروف درجة الحرارة العالية. في هذا السياق يختلف الادمصاص الجزئي أساساً من الادمصاص الأيوني الذي لا يعتمد بشكل كبير على تغيرات درجات الحرارة تحت ظروف التربة.

6.1.2 الأنظمة الغروية

كل العمليات التي وصفت آنفاً تشمل التفاعلات بين الجسميات (حبيبات) القابلة للانتشار(أيونات وجزيئات) والأسطح. تكون أهمية هذا التفاعل كبيرة مع زيادة مساحة السطح المعرضة للتفاعل تعتمد النسبة بين مساحة السطح والحجم الظاهري للمادة على درجة تشتتها أو انتشارها. حيث يتضح أن الحبيبات الصغيرة تعرض مساحة سطحية كبيرة نسبياً. في الأنظمة المتكونة من حبيبات شديدة العنصر تلعب القوة السطحية دوراً سائداً، وتسمى هذه الأنظمة بالأنظمة الغروية وفيها يكون قطر الحبيبات بين 0.1 إلى 10 نانومتر. الميزة الرئيسية للأنظمة الغروية ليست في الحبيبات، بل تكون بالأحرى في الدرجة التي عندها تتشتت أو انتشار الحبيبات. يتألف النظام الغروي من طور التشتت، المتكون من حبيبات صغيرة، ومن وسط التشتت، والذي يمكن أن يكون غازاً أو سائلاً يتكون النام الغروي في التربة من معادن الطين المتشتتة أو المنتشرة في الماء. والماء أيضاً وسط التشتت أو الانتشار في

أنسجة النبات، إلا أن البروتينيات والسكريات المتعددة هنا تمثل طور التشتت. وعندما تكون حبيبات طور التشتت للنظام الغروي انفصلت وتشتت بصورة متجانسة خلال وسط التشتت، يسمى هذا النظام بالنظام الصول (Sol) (محلول غروي في سائل). ويسمى النظام بالجل (gel) إذا كان وسط التشتت في حالة تخثر. وفي كثير من الحالات فإن الأنظمة الغروية تكون عكسية. وهذا يعني أنه يمكن تحويلها من (الصول) إلى (الجل) والعكس بالعكس.

الجزيئات الضرورية التي على هيئة صول (Sol form) إما أن تكون شحنت كلها بشحنات موجبة أو سالبة ولذلك تتنافر الجزيئات الفردية إلكتروستاتيكيا بعضها عن بعض، ويمكن أن يبقى طور التشتت (التنافر) في المعلق ولا يتخثر النظام المحلول. الجزيئات في النظام الذي يكون فيه الماء هو وسط التشتت تحاط بغلاف وكقاعدة فإن الجزيئات السالبة الشحنة يمكن أن تُعادل بإضافة الكاتيونات وخاصة الهيدروجين H^+. والجزيئات الغروية الموجبة الشحنة يمكن أن تعادل بإضافة أنيوينات وخاصة الهيدروجين OH^+. بمجرد أن تعادل هذه الجزيئات فإنها تفقد غلافها المائي وتتجمع معاً يحدث التخثر. وهذا النوع من التفاعل يعني بأن استقرار أو ثبوت أي نظام صول Sol يعتمد على الرقم الهيدروجيني pH للوسط المحيط. هناك أنواع أخرى أيضاً قادرة على تخثر الأنظمة الغروية ويعتمد مدى التخثر على تكافؤ ودرجة تميؤ نوع ذلك الأيون. كما وضح أعلاه فإن الأيونات في النظام المائي قد أدمصت على صورة متميئة (متحدة مع الماء). ولا تستطيع الأيونات العالية التميؤ مثل الصوديوم Na^+ بأن ترتبط بإحكام بسطح الجزيئات الغروية، لأن الغلاف المائي للأيون والطبقة المائية المحيطة تمنع اقترابها المحكم من الشحنات المخالفة (المضادة). ولهذا يكون التأثير التعادلي بين

الأيون والسطح الغروي المخالف له في الشحنة ضعيفاً. ولهذا السبب تحتفظ الجزيئات الغروية بكمية كبيرة نسبياً من شحنتها، ولهذا السبب تتنافر الجزيئات الغروية الأخرى ولا يحدث التخثر.

وخلافاً لذلك فالأيونات عالية التكافؤ ذات الغلاف المائي الرقيق قبل الكالسيوم Ca^{2+} فإنها تُدمص بإحكام إلى السطح المشحون. وبهذا فإنها تؤدي إلى معادلة الجزيئات الغروية وتفقد غرفها المائي، ويحدث التخثر ويتكون نظام جل gel. ويحدث هذا في التربة، وله تأثير هام في بناء التربة (أنظر 2.2.2). وعندما تُزال أيونات الكالسيوم Ca^{2+} بالغسيل أو تستبدل بأنواع أيونية أخرى كما يحصل في التربة، حيث أن نظام جل (gel) يتحول إلى حالة صول (Sol). ويسمى هذا التحول من حالة جل (gel) إلى حالة صول Sol (بتشبغر) Peptization المشتقة من الببسين Pepsin ، الذي يحول البروتين المتخثر في المعدة إلى محلول. كما تمت الإشارة إليه سابقاً بأن الزيادة في التكافؤ تشجع التخثر وطبقاً Schulze-Hardy فإن القدرة النسبية على التخثر لكل من Na^{+}: Ca^{2+}: Al^{3+} تكون على التوالي في هذا النسب 1: 20: 350 ويزداد أيضاً التخثر عند التركيز الأيوني العالي. وهذا يعني أن الأيونات التي لا تتخثر تستطيع أن تحدث التخثر إذا وجدت بتركيزات عالية بما فيه الكفاية. ولهذا فإن التركيز الأيوني العالي لهذه الأنيونات في المنطقة المجاورة لجزيئات السطح تسبب في اضطراب سطح الغلاف المائي وتستطيع أن تحفز عملية التعادل (neutralization) ولهذا السبب فإن البروتين يمكن أن يتخثر بكبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$.

2.2 الخواص المهمة في التربة

1.2.2 قوام التربة ومعادن الطين

يتكون الطور الصلب للتربة من مكونات عضوية وغير عضوية (معدنية) وتحتوي الجزء المعدني على جزيئات مختلفة الأحجام منها (<2 ميكرون) والسيلت (2–50 ميكرون) والرمل (50 ميكرون–2ملم) والحصى (2ملم–2سم) والصخور. وتتناسب أحجام هذه الجزيئات يحدد قوام التربة المعطاة. وهذه الخاصية ذات أهمية كبيرة في تحديد السلوك الفزيائي للتربة (أنظر 4.2.2) بالإضافة لذلك، ذات علاقة قريبة بحالة وتيسر المغذيات إذ أن الكثير من المغذيات النباتية مثل K^{+} و Mg^{2+} والفوسفور تكون موجودة بكثرة في جزء الطين.

من أهم معادن الطين في التربة هي ذات الطبقة السليكاتية. والجزيئات الأساسية البانية لهذه المجموعات من المعادن، هو تتراهيدرون Tetrahedron (رباعية الأسطح أو الأوجة) وأوكتاهيدرون Octahedron (ثمانية الأسطح أو الأوجه) (أنظر إلى شكل 5.2) ترتبط تتراهيدرا مهاً في نفس المستوى مكونة صفيحة رباعية الأسطح، وبنمط مشابه فإن أوكتاهيدرا تكون صفيحة ثمانية الأسطح ، ويتكون التترهيدراون (رباعية الأوجه) من أربع ذرات الأكسجين مربوطة بأحكام، وبين ذرات الأكسجين فراغات متساوية تحيط بالذارة الواقعة في المركز، والتي تكون في الغالب السيلكون Si مكونة بذلك تركيباً هرمي الشكل أمام الالكتاهيدرا (تركيب ذو ثمانية الأوجه) فهي تتكون من 6 مجموعات من الهيدروكسيل المتناسقة حول مركز كاتيون مركزي. وعلى العموم يشغل مركز أوكتاهيدروان.

ذرة Al^{3+} وقد تكون Mg^{2+} و Fe^{2+} ويمكن توظف لعمل بمركز ذرات

للاوكتاهيدروان وفي بعض الأحيان تكون الذرة المركزية غير موجودة.

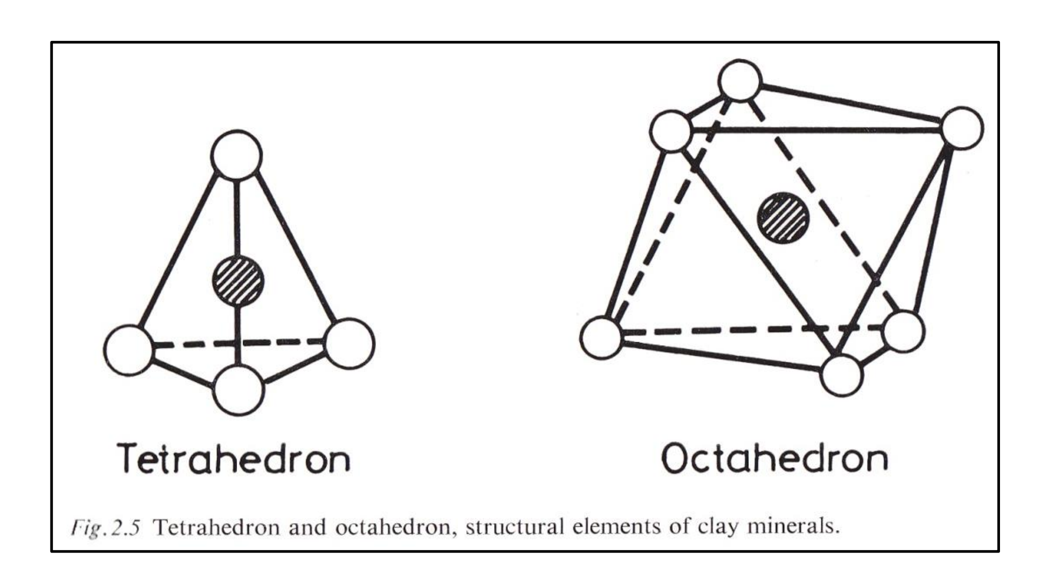


Fig. 2.5 Tetrahedron and octahedron, structural elements of clay minerals.

ثلاثة أنواع رئيسية من السيلكات يمثلها الكولنيت Kaolinite والميكا Mica وسميسكتات Smectite ويتكون معدن الطين الكاولنيت من طبقة تتراهيدرا (رباعية الوجه) واحدة تتبادل مع طبقة أوكتاهيدرا واحدة ومن ثم سميت بنموذج 1:1 الشرائط المتبلورة (أنظر الشكل 6.2) تشكل كلتا الطبقتين وحدة طبقية ذات البعد القاعدي 0.72 نانومتر nm بين وحدة الطبقات ترتبط طبقات تتراهيدرا مع طبقات أوكتاهيدرا بعضها ببعض بقوة بوساطة ذرات الأكسجين بالمشاركة المتبادلة، ترتبط كل وحدة مع الوحدة التالية بإحكام بوساطة الأواصر (روابط) الأكسجين- هيدروكسيل. وبذلك تكون إمكانية لتمدد قليلة (بسيطة)، ويستطيع كل من الماء والكاتوينات الحركة بين الوحدات.

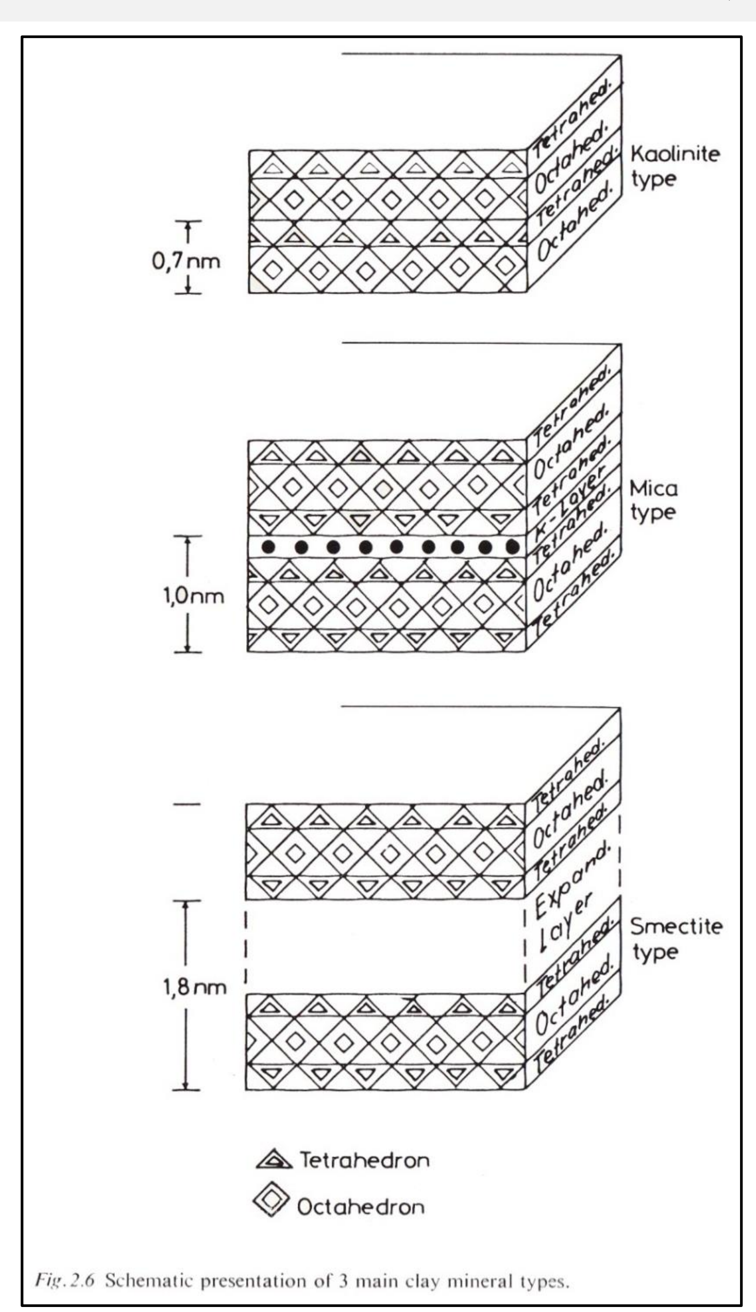


Fig. 2.6 Schematic presentation of 3 main clay mineral types.

تختلف الميكا عن الكاؤلينيت، لأن وحدة الطبقات فيها تتكون من طبقتين تتراهيدرا وطبقة أوكتاهيدرا ترتبط فيها (انظر الشكل 6.2) بوساطة المشاركة المتبادلة لذرات الأكسجين. وهذا النوع من التركيب هو نموذج لمعادن الطين 1:2، حيث توجد شحنة سالبة عالية في طبقة تتراهيدرا المشبعة بـK^+. وهذا K^+ الذي يوجد في صورة متأدرية يربط وحدة الطبقات 1:2 معاً بقوة، مكوناً بذلك الميكا. ويكون البعد القاعدي بين وحدة الطبقات 1.0 نانومتر nm.

مجموعة الموتنمورلينت لها أيضاً تركيب 1:2 إلا أن وحدة الطبقات تكون مرتبطة معاً بقوة ضعيفة بوساطة الكاتيونات المتأدربة بصورة خاصة Ca^{2+}. حيث يمكن أن يدمص الماء والكاتيونات بسهولة من قبل الأسطح الداخلية ويستطيع المعدن أن يتمدد وينكمش مع البعد القاعدي بتفاوت من 1> 4 نانومتر. حيث تفوق مساحة الأسطح الداخلية لمجموعة هذه المعادن مساحة الأسطح الخارجية. والبعد القاعدي لصور Ca^{2+} المتأدرتة بالكامل الذي يوجد سائداً في التربة يكون 1.9 نانومتر.

معادن الطين 1:2 أخرى تضم الفيرميكوليت Vermicrolite (أنظر الشكل 10.1) ذات المسافة 1.4 نانومتر للوحدة الطبقية، والاليت (illite) هو مشتق من الميكا واللااليت تركيب متجانس . وبالفعل مساحات كبيرة من المعدن تستطيع أن يكون لها تركيب متشابه للميكا حيث ترتبط وحدة طبقات معاً بوساطة K^+ عند الحواف أن تتمدد مكونة Wedge zone (أنظر الشكل 10.2) حيث تكون أخرى عدا K^+ أدمصت ((Schroeder (1978)). وتكون مساحة الأسطح الداخلية أصغر نسبياً من تلك المجموعات الموتنمورولنيت. وخواص

الأنواع الثلاثة الرئيسية موضحة في جدول 2.2.

تنشأ الشحنة السالبة لمعادن الطين بالإحلال المتماثل، الذي يحدث عندما Mg^{2+} يحل محل Al^{3+} في طبقة أوكتاهيدرا على سبيل المثال. كذلك ربما توجد شحنات عند الحواف العادية المتبلورة مختلفة بتكافؤات غير مشبعة عند الحواف المكسورة لصفائح التراهيدرا والأوكتاهيدرا.

الالوفينات (allophanes) تعتبر مثالاً للجزيئات غير المتبلورة ، حيث تشكل الجزء الأكثر أهمية في الطين، الموجودة في الترب المسماه آندا anda في جنوب أمريكا- للالوفينات سطوح خارجية مثل الكأولنيت. وادمصاص كاتوينها تكون غر محددة. تحتوي كل من معادن الالوفين، والكاؤلنيت على كمية عالية من Al إلى حدٍ ما بالعلاقة مع Si وهذا يحفز إدمصاص قوى للفوسفات في الترب الغنية بمعادن الطين هذه.

Table 2.2 Comparative properties of three major types of silicate clay (after BRADY [1974])

Property	Type of clay		
	Smectite	Illite	Kaolinite
Size (μm)	0.01–1.0	0.1–2.0	0.1–5.0
Shape	Irregular flakes	Irregular flakes	Hexagonal crystals
Specific surface (m^2/g)	700–800	100–120	5–20
External surface	High	Medium	Low
Internal surface	Very high	Medium	None
Cohesion, plasticity	High	Medium	Low
Swelling capacity	High	Medium	Low
Cation exchange capacity (me/100 g)	80–100	15–40	3–15

إدمصاص الكاتيون للتربة ليس ناتجاً من الجزيئات (الحبيبات) المعدنية فحسب، بل

أيضاً من المادة العضوية (الأحماض الدبالية) مواقع التبادل الكاتيوني للمادة العضوية تكون أساساً من مجموعات الفينول والكربوكسيل (Schnitzer and Skinner , 1965). وعندما توجد هذه المجموعات على شكل منفصل (مفكك) فإنها تكون قادرة على إدمصاص الكاتيونات.

ويكون الادمصاص غير مميز (محدد) ويتبع سلسلة كايتون هوفمساتر Hofmeister cation sequence. أنظر 2.12 ولهذا السبب يفضل ادمصاص الكاتيونات الثنائية التكافؤ عن الكاتيونات الأحادية التكافؤ. وفي هذا السياق فإن سلوك H^+ (أيون الهيدروجين) يكون استثنائياً بسبب ترابطه مع هذه المجموعات التي تمثل تكوين الرابطة الكيميائية. تكون السعة التبادلية الكاتيونية للحوامض الدبالية بين 200 – 400 ملليمكافئ / 100جم، وبمقارنتها بمعادن الطين فهي تبدو عالية جداً. مع ذلك تعتمد هذه السعة التبادلية على الوزن، وبما أن كثافة المادة العضوية تكون أقل إلى حد كبير عنها في معادن الطين، حيث لا تحتوي التربة العضوية في مواقعها الأصلية على مثل هذه السعة التبادلية الكاتيونية العالية كما في التربة الغنية بالطين. وحوالي 50% من السعة التادلية في التربة المعدنية الدبالية تكونت في الطبقات السطحية بوساطة المادة العضوية. لكن وكما هو موضح في جدول 2.3، فإن مستويات المادة العضوية في التربة قد تختلف بوضوح اعتماداً على نوعية التربة والظروف المناخية السائدة. ومساهمة المادة العضوية في السعة التبادلية الكاتيونية في التربة قد تختلف بين الترب.

Table 2.3 Content of organic matter in various soil types

Soil Types	% org. m. based on weight
Mineral soils	<2%
Humic soils	2–15%
Anmoor peat	15–30%
Peat soils	>30%

2.2.2 بناء التربة

يمكن تعريف بناء التربة بأنه ترتيب جزيئات التربة في مجموعات أو تجمعات (Brady 1974). ومقدرة التربة على تكوين تجمعات، حجم وشكل التجمعات، وثبوت التجمعات الناتجة ذات علاقة وطيدة مع المحتوى الغروي للتربة، الترب الخفيفة القوام المنخفضة الغرويات تكون عديمة البناء مثل مادة الرمل الخشن التي لا تكون تجمعات.

يكون لبناء التربة أهمية أكثر بارتفاع محتواها من الطين، يدمص الماء على معادن الطين يؤدي إلى انتفاخ التربة، ويعتمد الانتفاخ والانمكاش على الماء المتاح، حيث تنتفخ التربة الطينية تحت الظروف الرطبة وتنكمش تحت الظروف الجافة وتحدث تشققاً وتصدعاً في قطاع التربة. وهذا نمط نموذجي في الترب الغنية بالمونتموريللوينت لسهولة إدمصاصها للماء. الأراضي السوداء الاستوائية هي مثال التي يحدث فيها انتفاخ وجفاف للطين. وهذه الترب لها محتوى عالٍ من الطين والذي يقتصر بشدة على معدن المونترموريللوينت فهي تنتفخ قي الفصل الرطب، وتصبح لزجة بينما تجف وتتشقق في الفصل الجاف، والى الحد الذي تصبح عنده بصلابة الصخر. وعلى الرغم من أن حالة المغذيات لهذه الترب تكون مرتفعة إلا أنه بسبب ضعف البناء الذي يحد من قدرتها الزراعية لصعوبة خدمتها.

يعتمد شكل وحجم الجزيئات (الحبيبات) إلى حد كبير على نوعية معادن الطين الموجودة في التربة. معادن طين المونتورولينيت تميل إلى تكوين تركيب المنشوري ذي الزوايا، بينما معدن الكاولينيت الأكاسيد المائية يصاحبها كثيراً تكوين التجمعات الكروية.

يعتمد ثبات التجمعات (الكتل) بالدرجة الأولى على الكاتيونات المدمصة على غرويات التربة، والتركيب الضعيف يحدث عندما يكون Na^{+} سائداً في المركب التبادلي، لأن له تأثيراً على تشتت حبيبات التربة ويعيق تجمعها كما أشار إليه (في شكل 6.1.2) فإن الكاتيونات الثنائية تكون فعالة لحدوث التخثر أو التجمع لحبيبات التربة. بهذه العملية ترتبط الحبيبات الصغيرة معاً مكونة كتلاً ثابتة ذات أحجام مختلفة. وتحتوي هذه التجمعات (الكتل) على نسبة عالية من المسافات الفارغة التي يمكن شغلها بالماء أو الهواء. وعندما تكون المسامات الفارغة في التربة حوالي 40 – 50 % من حجمها فإنها تعتبر ذات بناء جيد لنمو النبات. مثل هذه التربة تكون قادرة على خزن الماء والهواء وتستطيع جذور النبات اختراقها بسهولة.

يلعب الكالسيوم Ca دوراً مهماً في تركيب التربة، وهذا يرجع لمقدرته التي تساهم على تكوين التجمعات الثابتة مع معادن الطين. والجمع بين الأحماض الدبالية ومعادن الطين في تركيبه يمكن أن يشكل مركبات عضوية– معدنية ثابتة (Schactschable 1976). لهذا السبب، يجب أن تكون نسبة التشبع بكالسيوم في الترب المونمتورولينت أو الاليت هي 60–80 % من السعة التبادلية على الترتيب. وتكون حوالي 20% في التربة الكاؤلنية (Broyes and Stout, 1959). وهذه التربة تحتوي عموماً على كميات كبيرة من

الاوكسيدات المائية، والتي تكون أكثر فاعلية في عملية التجمع لحبيات التربة من الكالسيوم.

يعتمد تشبع غرويات التربة بالكاتيونات على نوعية التربة والظروف المناخية السائدة. وهذا موضح في جدول 4.2 حيث قورن فيه تشبع الكاتيونات ثلاث أنواع من التربة المختلفة. تكون الغرويات في التربة القاعدية مشبعة بالكاتيونات القاعدية بنسبة عالية، وبخاصةً Na^{+}. مثل هذه التربة يكون واضحاً بأن لها بناءً ضعيفاً (أنظر 6.2.2).

تشبع تربة Chernozem بالكاتوينات يوضح الحالة النموذجية عندما يكون Ca^{2+} هو الكتيون السائد. والبناء الحبيبي المفتت لهذه التربة هو أمر معروف جداً. في التربة البيضاء Podzol توجد أيونات H^{+} و Al^{+3} بزيادة عن بقية أنواع الكاتيونات الأخرى وبناء هذه التربة أيضاً غير مرغوب فيه.

جدول 4.2 نسبة المئوية لمختلف الكاتيونات المشبعة للغرويات التربة للأنواع التربة المختلفة (Hoaglang,1948).

Table 2.5 Relationship between the diameter of soil pores and the suction tension of the water held in the pores (De Boodt and De Leenheer [1955])

Size of Pores	Diameter in μm	Suction Tension pF
Coarse	>50	<1.8
Medium	50–10	1.8–2.5
Fine	10–0.2	2.5–4.2
Very fine	<0.2	>4.2

بناء التربة يعتمد أيضاً على الغطاء النباتي (الخضري). حيث يوجد بناء التربة الجيد خصوصاً في مناطق الأعشاب الدائمة. وهذا نتيجة تأثير المحتوى العالي للمادة العضوية وبقايا

الحيوان. في هذا السياق فإن ديدان التربة تساهم بصورة كبيرة في تكوين الكتل الثابتة. غالباً تكون الغير مزروعة ذات محتوى منخفضاً في المادة العضوية وبقايا الحيوانية في التربة، ولهذا السبب تكون غالباً ضعيفة البناء وقام (Crompton, 1958) بشرح مفيد عن بناء التربة.

3.2.2 ماء التربة

تيسير الماء للنباتات بصفة عامة يعتمد على عاملين أساسين في التربة. الماء الكلي وتوزيعه داخل قطاع التربة، والمدى الذي يوجد فيه الماء المرتبط بحبيبات التربة. والدرجة التي يرتبط بها الماء إلى جزيئات أو حبيبات التربة يعبر عنها بالشد المائي. ويقاس الشد المائي عادةً باستعمال قيمpF. في هذا السياق يعبر عن المعنى بارتفاع عمود الماء (سم) الذي ضغطه يكون مساوياً للمص الذي يصاحب ارتفاع عمود المص القوي والعكس بالعكس. وقسمة pF تساوي لوغاريتم لارتفاع عمود الماء المقاسة بالسنتمتر (سم). للعمود المائي 10سم، وإذا قيس بالـ pF يساوي واحد. قيم pF تكون قيماً موجبة بخلاف قيم الجهد المائي التي تكون في الغالب سالبة.

قدم مفهوم الجهد المائي كطريقة أساسية لوصف حالة الماء وحركة الماء. وهذا المفهوم مفيد بصورة خاصة حيث أنه يسمح بمعاملة منظماً للتربة وعلاقة التربة والنبات بالماء. وهذه قيم تناولها باستفاضة أكثر في (2.1.4). في هذا السياق تحتاج فقط أن نذكر بأن الجهد المائي للتربة يعتمد على أدمصاص المائي (الجهد ماتري Ym) (Matric forces) وأيضاً على تركيز المنحل للكهرباء للمحلول في التربة الملحية (القوى الاسموزية) (Osmotic forces). والماء في الحالة الحرة يكون له جهد مائي عالي (صفر). وينخفض هذا عندما يدمص الماء أو

عند وجود المذابات (المادة المذابة) التي تخفف "تركيز الماء". والماء يتدفق من الجهد المائي العالي إلى الجهد المائي المنخفض.

يرمز للجهد المائي بوحدة البار (Bar) ويكون الجهد المائي للماء الني يساوي صفر تحت الضغط الجوي. ويكون الماء المرتبط عند الشد المائي pF 3 مساوياً للضغط الماص واحد بار (1كجم / سم^2). ويكون الجهد المائي لهذا الماء تساوي −1 بار. حيث الجهد المائي الاعتيادي في التربة يكون في مدى يتبع ما بين 0.1 – 1.0 بار.

العلاقة بين pF والبار معطاة في المعادلة التالية:

(−) البار= 10^{pF-3} $- bar= 10^{pF-3}$

إن الماء المزود للنبات بنظم إلى حد كبير بوساطة ضغط الماء وحركة الماء في التربة كما سبق توضيحه بأن مقدرة التربة على حمل الماء تزداد كلما زاد محتواها من الغرويات المعدنية والعضوية. ويمكن أن يحتجز الماء بالمسامات الصغيرة والمتوسطة الحجم. وهذا يؤثر بناء التربة مباشرةً في مقدرة التربة على جمل الماء. وعرف كل من و Veihmeyer و Hendrickson (1931) مصطلح السعة الحقلية (Field capacity) بأنها "كمية الماء التي تحتفظ بها التربة بعد صرف الماء الزائد بفعل الجاذبية، أو بعد تناقص معدل حركة الماء إلى الأسفل. والطريقة المتبعة لقياس السعة الحقلية هي بتشبع التربة بالكامل بالماء، بحيث تمتلئ كل المسامات بالماء، وبعد ذلك تترك التربة تصرف الماء لفترة ما بين يومين أو ثلاثة أيام تحت الظروف التي لا يحدث فيها التبخر. والماء المتبقي في التربة يمثل السعة الحقلية والتي يعبر عنها كنسبة الماء في المادة الجافة أو في حجم التربة. وعلى سبيل المثال إذا احتوت التربة على

200 جم ماء لكل كيلوجرام من التربة الجافة فتكون السعة الحقلية 20 %. ويكون القياس في التربة العضوية بالحجم، بسبب قدرتها العالية على حمل الماء وكثافتها المنخفضة عندما تكون جافة. وتعطى السعة الحقلية مؤشراً عن مقدرة التربة على تخزين الماء. وهذه تعادل أو تماثل مقدرة التربة على إمداد النباتات بالماء خلال المواسم الجافة.

إن إمداد النباتات بالماء لا يعتمد على السعة الحقلية فقط بل يعتمد أيضاً على قوة ادمصاص الماء على حبيبات (جزيئات) التربة. كما هو مُشار إليه في (5.1.2) بأن طبقات الماء المتاخمة لسطوح الادمصاص يمكن أن ترتبط بقوة عالية قدرها 6000 بار. وتسمى قوى الربط المائي بالشد المائي أو سد المص، وهذا يرجع إلى حقيقة أن الماء يُدمص فعلاً إلى سطوح جزيئات التربة. ويشمل الماء الموجود عند السعة الحقلية الماء المدمص والماء الممسوك في مسامات التربة الشعرية، ويسمى الجزء الأخير بالماء الشعري وتعتمد الشدة التي تمسك بها الجزء من الماء على أقطار المسامات البينية. وكلما قل القطر يصبح ربط الماء أو سد المص أقوى (جدول 5.2). المسامات البينية التي يزيد قطرها عن 0.05 ملم تكون كبيرة جداً لتحتجز الماء بعد أن بلغت التربة السعة الحقلية والتي اصطلحوا على تسميتها بالمسامات غير الشعرية. القوى الرابطة للماء الشعري ذات علاقة بادمصاص جزيئات الماء إلى جدران المسامات البينية، وعلى قوى الالتصاق التي بها تنجذب جزيئات الماء بعضها بعضاً. نتيجة لقوى الادمصاص والالتصاق يرتفع ماء التربة بنفس الطريقة التي يرتفع بها الماء في الأنبوب الشعري. ولهذا الارتفاع الشعري للماء في أمداد النباتات بالماء، خصوصاً عند انتقال الماء من طبقات التربة العميقة.

Table 2.5 Relationship between the diameter of soil pores and the suction tension of the water held in the pores (De Boodt and De Leenheer [1955])

Size of Pores	Diameter in μm	Suction Tension pF
Coarse	>50	<1.8
Medium	50–10	1.8–2.5
Fine	10–0.2	2.5–4.2
Very fine	<0.2	>4.2

النباتات النامية في التربة تمتص أولاً الماء المرتبط بصورة ضعيفة. وهذا الجزء من الماء ذي الشد المنخفض (قيمة Pf منخفضة) ويكون أكثر تيسيراً. وبامتصاص هذا الجزء من الماء المتيسر، يصبح ماء التربة الباقي وبالتدريج أقل يسراً، لأنه سكون ممسوكاً بجزيئات التربة بالقوة. وبجفاف التربة فإن تيسير الماء يقل، وتصل أخيراً إلى النقطة الممسوك بها بالقوة بوساطة الادمصاص، التي عندها تكون جذور النباتات غير قادرة على استعمال الماء. وبهذا تبدأ النباتات النامية في التربة في الذبول. والجهد المائي الذي عنده يحصل الذبول يسمى نقطة الذبول (Wilting point). ويمكن للمرء التفريق بين نقطة الذبول المؤقت ونقطة الذبول الدائم، حيث يستطيع النبات في حالة الذبول المؤقت أن يسترد حالته الاعتيادية عند إمداد التربة بالماء، في حين يموت النبات في حالة الذبول الدائم، حيث يصل الذبول إلى النقطة غير القابلة للعكس. ولا يمكن تعريف نقطة الذبول بدقة بمصطلح الجهد المائي أو المحتوى المائي للتربة. ومع ذلك فإن أنواع نباتات كثيرة تصل إلى نقطة الذبول عندما يكون الجهد المائي بحوالي 10 – 15 بار حيث تعتمد القيمة المضبوطة على أصناف النباتات والظروف المناخية السائدة.

الماء المرتبط بقوى تماثل جهود مائية أقل (10−) إلى (15−) بار يكون غير متيسر للنباتات. إن الكمية الكبرى من الماء المتيسر التي تستطيع التربة احتواؤه هي ناتج الفرق بين السعة الحقلية وجزء الماء الممسوك بالقوى الأكثر من − 10بار. ومن هذا يتضح بان التربة التي تحتوي على كميات عالية من الطين والتي لها مساحة سطحية كبيرة تكون قادرة على الادمصاص، والتي تحتوي أيضاً على كميات معقولة من الماء غير المتيسر للنبات.

العلاقة بين محتوى الماء (%) والجهد المائي (بار) للتربة الطينية والسيلتية اللومية الطينية موضحة في الشكل 2.7 التناقص في الجهد في الجهد المائي في التربة الطينية من − 0.2 إلى − 0.8 بار يكون مصوحوباً بانخفاض بسيط في محتوى المائي للتربة. نقطة الذبول حتى عند الجهد المائي المنخفض − 15 بار، حيث 26 % من الماء يكون متيسراً للنبات وتختلف تماماً العلاقة بين المحتوى المائي والجهد المائي للتربة اللومية السلتية. الهبوط في الجهد المائي يكون مصحوباً بإنخفاض حاد في المحتوى المائي ويبلغ المحتوى المائي للتربة 8 % عند الجهد المائي − 15بار وهذا يوضح بأن الماء في التربة السلتية اللومية يمكن استنزافه بامتصاص النبات له بدرجات أعلى كثيراً من الماء في التربة الطينية (Heatherly and Russell 1979).

إن كمية الماء المتيسرة، والتي يمكن أن تخزن بالتربة، هي التي تكون ممسوكة بين نقطة الذبول الدائم (− 15) والسعة الحقلية (−0.1) ومن الشكل 7.2 يمكن حساب القدرة التخزينية للماء المتيسر في التربة اللومية السلتية وهي أعلى كثيراً منها في التربة الطينية. وأخيراً تكون القدرة التخزينية الإجمالية للماء عالية، إلا أن جزءاً بسيطاً من الماء المخزن يكون متيسراً للنباتات. وفي التربة الرملية يكون العكس صحيحاً حيث القدرة التخزينية المنخفضة،

إلا أن أغلب الماء المخزن يكون متيسراً.

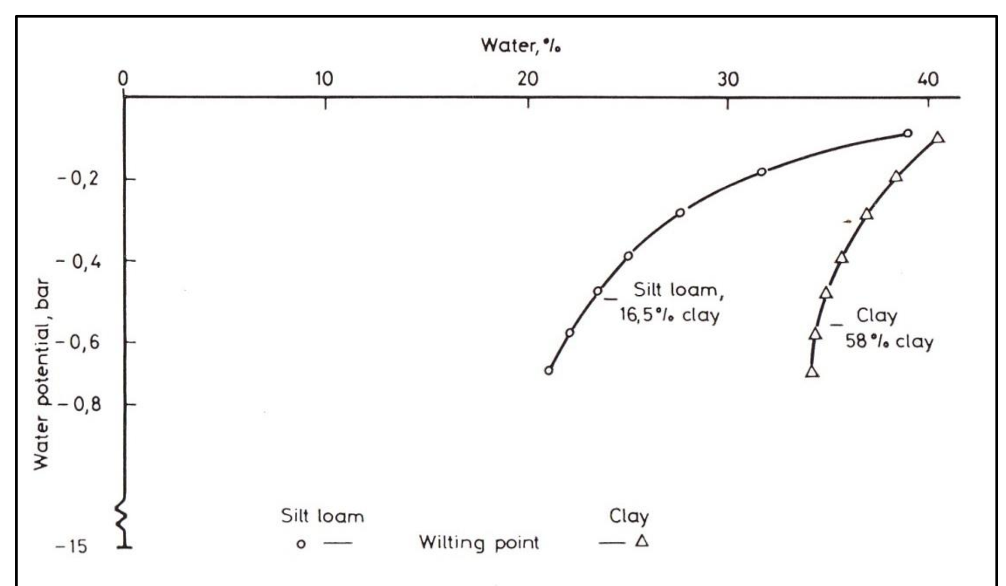


Fig. 2.7 Relationship between the water content (%) and the water potential (bar) of a clay soil and a silt loam soil (according to data of HEATHERLY and RUSSELL [1979]).

بالإضافة إلى المحتوى المائي والشد المائي للتربة، فإن حركة الماء تلعب أيضاً دوراً مهماً في إمداد النباتات بالماء. تحدث حركة الماء إلى الأسفل بسبب الجاذبية الأرضية فقط عندما يكون محتوى طبقات التربة السطحية (العليا) أعلى من السعة الحقلية. حيث أن حركة الماء إلى الأسفل تسبب في غسل المغذيات إلى طبقات التربة العميقة ومن ثم خارج قطاعها، ويكون الماء الزائد غالباً ليس ذا أهمية كبيرة في تغذية النبات. وكما شرحنا سابقاً بأن اتجاه حركة لماء التربة في الحالة السائلة إلى أعلى هو نتيجة القوى الشعرية. حيث قدر كبير من مسامات أجزاء التربة الخشنة القوام ذات أقطار كبيرة، بينما نسبة عالية من المسامات تكون

ضعيفة في التربة ناعمة القوام، وارتفاع مستوى ارتفاع الماء فيها يكون منخفضاً على ما هو عليه في التربة التي تحتوي على المسامات البينية الصغيرة. وهذه العلاقة لاحظها الباحث (Wolly,1885) في القرن التاسع عشر.

وهذه النتائج لها أهمية تطبيقية. حيث أن التربة المتوسطة القوام تكون قادرة على نقل الماء من مستوى الماء الأرضي إلى طبقات التربة العليا بسرعة أكثر من التربة الرملية. من ناحية أخرى تكون حركة ارتفاع الماء الشعري من مستوى الماء الأرضي منخفضة في أكثر الأحيان في حالة التربة ناعمة القوام (تربة طينية) وبذا يكون غير قادر ليفي باحتياجات النباتات للماء. وبسبب حركة ارتفاع الماء الشعري في التربة المتوسطة القوم، فإن الماء الأرضي العميقة ربما يكون نسبياً جزءاً من الماء الذي تُزود به المحاصيل النامية في هذه التُرب.

يصبح الماء المزود للنباتات حرجاً عندما يكون المحتوى المائي للتربة منخفضاً لحد كبير عن مستوى سعتها الحقلية. وكمية الماء المتاحة للنباتات تحت مثل هذه الظروف بوساطة التعرض حيث تشق الجذور طريقها خلال التربة، والتي تكون قليلة نسبياً من حيث علاقتها بالطلب الكلي. ولهذا السبب ينتقل الماء إلى جذور النبات. وارتفاع الماء الشعري وحركة الجانبية للماء نتيجة تأثير القوى الشعرية يكونان ذات أهمية.

4.2.2 غلاف هواء التربة

إن تركيب هواء التربة يختلف عن التي بالغلاف الجوي. حيث يكون مستوى CO_2 في الغلاف الجوي بالحجم حوالي 0.03 %، بينما يكون المستوى أعلى في التربة، ويقارب عن 0.2 – 1 % في الطبقات السطحية للتربة. ويحتوي هواء التربة أيضاً على محتوى

منخفض من الأكسجين الذي يقارب من 20.3 % بمقارنة مع الغلاف الجوي 20.99 %. يعود المستوى العالي من CO_2 نتيجة لتنفس الكائنات الحية الدقيقة التي تستهلك O_2 وتحرر CO_2. وهذه توضح ضرورة وجود الأكسجين في هواء التربة. حيث تنفس جذور النبات يعتمد إلى حد كبير على CO_2. تزود عملية التنفس الطاقة لمختلف عمليات التحول الغذائي (الأيضية) التي تضم الامتصاص الفعال (النشط) للايونات بوساطة الجذور النباتات. ومع ذلك فإن الضغط الجزئي للأكسجين التي تحتاجه الجذور في عملية التحول الغذائي يمكن أن يكون أكثر انخفاضاً منه في الغلاف الجوي لذلك بين (1950) Hopking et al بأن امتصاص نبات الطماطم للمغذيات كان ضعيفاً فقط، عندما كان محتوى الأكسجين في وسط نمو الجذر في معدل أقل من 10 % أو ضغط جزئي 0.1 بار تقريباً. وجدول 6.2 يوضح النتائج الرئيسية لهذا البحث.

غياب الأكسجين يمكن أن يؤثر مباشرة في أيض الكربوهيدرات في الجذور، حيث ينخفض الانحلال التأكسدي للسكريات، ويتكون الكحول بوساطة عملية التخمر (1958) Kandler. حيث للكحول تأثيراً ضار على نمو النبات، ويمكن أن ينتج عنه انخفاض كبير في المحصول (Erickson and Vandoren 1960). نقص الأكسجين في الجذور يضعف أيضاً عملية تصنيع Phytohoromones مثل السيتوكنيني والجبرلين.

Table 2.6 Effect of O_2 partial pressure in the nutrient solution on the relative uptake of P and K by tomato plants (HOPKINS *et al.* [1950])

O_2 Partial Pressure	Relative Uptake	
bar	P	K
0.21	100	100
0.05	56	75
0.005	30	37

إمداد بالأكسجين لجذور النباتات والكائنات الأخرى الهوائية في التربة لا يعتمد فقط على محتوى الأكسجين في هواء التربة، بل أيضاً يعتمد على الحجم الكلي للهواء الموجود في التربة. حيث تنخفض هذه الكمية بزيادة المحتوى المائي في التربة. حيث تنخفض هذه الكمية بزيادة المحتوى في التربة لأن الماء يزيح الهواء من المسامات الكبيرة في التربة والتي تكون عادةً مملوءة بالهواء. لذلك فإن زيادة المحتوى المائي للتربة يعيق العمليات الهوائية وبدعم العمليات اللاهوائية.

تحت الظروف اللاهوائية تتراكم المركبات النهائية الناتجة من الكائنات الحية الدقيقة، وهذه المركبات الناتجة من الأيض اللاهوائي تشمل مواد ذات تأثير سام على النباتات الراقية مثل الاثيلين والميثان وكبريتيد الايدروجين والسيانيد وحامض البيوتريك وعدد من الأحماض الدهنية الأخرى. حيث يضعف نمو النباتات التي تتأثر بهذه السموم وتظهر عليها أعراض الذبول. للصرف الرديء تأثير ضار على نمو النبات أكثر خطورة من التأثير الذي يسببه الغياب البسيط للأكسجين. توجد مراجع مفيدة تتعامل مع نمو النبات وعلاقة المغذيات في الأراضي الغذقة والمغمورة بالماء منشورة من قبل (1972) Marschner و(1972)

.Ponnamperuma

تختلف أنواع النباتات في مقدرتها على مقاومة ظروف التهوية الرديئة (1961) Letey et al وطبقاً Crawford (1967) فإن بعض أنواع نباتات المستنقعات تكون قادرة على تحمل ظروف التهوية الرديئة باستعمالها مشارات التخمر للتقليل من إنتاج الكحول. هذا التقليل أو التفسير كان موضع شك الأبحاث اللاحقة لكل من (1979) Smith and Ress اللذين أجريا أبحاثاً مفصلة عن مسارات تخمر الكبوهيدرات في جذور نباتات المستنقعات. ويوجد نوع من التأقلم في نبات الأرز وبعض أصناف النباتات الأخرى كما أوضح (1962) Barber et al حيث قارنوا بين نبات الأرز والشعير في مقدرتها على نقل الأكسجين من المحيط الجوي خلال الأوراق والسيقان إلى الجذور، ووجدوا أن نباتات الأرز الأكثر فاعلية في هذه العملية، حيث كانت هناك نسبة عالية من الهواء تملأ المسامات البينية لجذور الأرز. جذور الأرز قادرة أيضاً على إفراز O_2 إلى الوسط المحيط بها. وهذه العملية مهمة لأنها تجعل منطقة الجذور وسطاً هوائياً وبالتالي يحافظ على نبات الأرز من تكوين السموم تحت الظروف اللاهوائية. وفي البادرات يمكن أيضاً للأكسجين الانتشار من الأوراق إلى الجذور (Green wood, 1971). طبقاً إلى Bartlett, 1961 بأن مقدرة نباتات الأرض الغدقة على تحمل الاختزال في ظروف التربة تكون ذات صلة مع مقدرة الجذر على أكسدة المنطقة القريبة من الجذور (الغلاف الجذري) Rhizophere عن طريقة نقل O_2 من المجموع الخضري إلى الجذور.

تؤثر ظروف الاختزال في التربة على العديد من العمليات غير العضوية (المعدنية)

والحيوية التي بدورها لها تأثير هام على نمو النبات. تربة حقول الأرز المثال المفيد الذي يوضح العمليات المختلفة الحاصلة في الترب الغدقة. ولهذا السبب سوف نشرحها بالتفصيل.

يمكن تقييم ظروف الاختزال في التربة المغمورة عن طريق قياس جهد الرودكس (Redox potential). الذي ينظمه تركيزات المواد للتأكسد وطبقاً للمعادلة التالية:

$$E = E_o + \frac{R \cdot T}{nF} \ln \frac{(Ox)}{(Red)}$$

OX= تركيز المواد المتأكسدة

R= ثابت الغاز

Red= تركيز المواد المختزلة

T= درجة الحرارة المطلقة

Eo= جهد الأكسدة والاختزال رودكس القياسي **F**= ثابت فراداي

Eo تساوي **E** إذا كان (**OX**) و **Red**

n= تكافؤ

يقاس الجهد الرودكس في التربة بصفة عامة باستعمال قطب البلانيوم Platinum electrode، ويعبر عنه بالفولت. والجهد المتحصل عليه ويرمز إليه غالباً بـEh أكثر من E.

من المعادلة السابقة يمكن استنتاج أن الجهد يقل بزيادة المواد المختزلة بعلاقتها بتركيز المواد المتأكسدة. لذا فإن الجهد المنخفض يدل على طاقة اختزال مرتفعة أو فائض في الالكترونات الذي يؤثر على عملية الاختزال، بينما يدل الجهد الرودكس العالي على نقص في الالكترونات وفي جهود الأكسجين O_2 يسود جهود أكسدة واختزال الرودكس مرتفعة

كثيراً (V 0.33+) ويعود هذا إلى الحقيقة بأن O_2 مؤكسد قوي يقود لأكسدة الكربون والهيدروجين والنيتروجين والحديد والمنجنيز لتكوين الأوكسيدات الملائمة (CO_2، H_2O، NO_3، SO^{2+}_4، Fe_2O_3 ، MnO_2). والأوكسيدات التي ذكرت آنفاً يتم أختزالها عندما تخضع التربة لفترة الغمر بالماء (Ponnamperuma, 1972) وهذا الاختزال يكون في بعض الأحيان ذا صلة باستهلاك الـH^+ كما هو موضح في المعادلة:

$$Fe(OH)_3 + \bar{e} + 3H^+ \rightarrow 3H_2O^+ Fe^{2+}$$

وهذا السبب الرئيسي في زيادة pH التربة الحامضية أثناء فترة غمرها بالماء. وعموماً فإن جهد الرودكس لتربة حقول الأرز تكون في مدى يتبع بين +0.6 إلى — 0.2 فولت (Takai et al., 1957).

أثناء زراعة الأرز يتم الحفاظ على التربة مغمورة بالماء على عمق قدره بضعة سنتمرات، وتبدأ الظروف اللاهوائية بمجرد أن تغمر التربة بالماء ويمكن ملاحظة سلسلة التفاعلات الخاصة والتي يمكن تقسيمها إلى مرحلتين. وهاتان المرحلتان وخطوات التفاعل الفردية وضحت في الجدول (7.2). وتبدأ الحياة اللاهوائية باختفاء O_2 واختزال الكائنات الحية الدقيقة للنترات (NO_3^-) إلى N2 و NO^+ ويختزل المنجنيز والحديد بعد ذلك إلى Mn^{2+} و Fe^{2+} على التوالي. يتطابق مع ذلك الانخفاض البسيط في جهد الرودكس في التربة. هذه المرحلة الأولى من الاختزال غير ضارة لنبات الأرز شريطة أن Mn^{2+} و Fe^{2+} لا يصلان إلى المستوى السام.

جدول (7.2) خطوات الأيضية (العمليات الحيوية) للكائنات الدقيقة في التربة

المغمورة (Takai et al., 1957)

Table 2.7 Steps of microbial metabolism in waterlogged soils (Takai *et al.* [1957])

Step	Main Reaction	Initial Redox Potential (volts)
	First stage	
1st	O_2 disappearance	+0.6∼+0.5
2nd	Nitrate reduction	+0.6∼+0.5
3rd	Mn^{2+} formation	+0.6∼+0.5
4th	Fe^{2+} formation	+0.5∼+0.3
	Second Stage	
5th	Sulphide formation sulphate reduction	0∼—0.19
6th	H_2 formation	—0.15∼—0.22
7th	CH_4 formation	—0.15∼—0.19

المرحلة الثانية للاختزال يصاحبها أنخفاض كبير في جهد الرودكس مما يدل على إنتاج مواد مختزلة. وفي هذه المرحلة يتم اختزال الكبرتيات إلى كبريتدات (السلفيد) (أنظر 8.1) وحتى عند الجهد الرودكس المنخفض تتكون جزيئات H_2 ويتكون غاز الميثان، وتتراكم كذلك مواد سامة إضافية. المرحلة الثانية يجب تجنبها عند زراعة الأرز حيث أن الترب التي تضاف إليها المادة العضوية أو ذات المحتوي الطبيعي المرتفع من المادة العضوية تكون عرضة لانخفاض في جهد الرودكس، ويرجع هذا إلى الحقيقة بأن المادة العضوية تسهل أو تدعم النمو والتحولات الغذائية للكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية (Ponnamperuma, 1965). وطبقاً لما جاء به (Tanaka and Yoshida 1970) فإن الترب الغنية بالحديد النشط (الحديد الذي يكون سهل الاختزال أو التأكسد) تكون قادرة على تنظيم جهد الرودكس إلى حدٍ ما، ومن ثم تمنع من نشوء أو تكوين المرحلة الثانية. تعود

هذه السعة التنظيمية إلى حقيقة بأن التربة الغنية بالحديد النشط تكون فيها نسبة الحديديك إلى الحديدوز (Fe^{3+} / Fe^{2+}) مرتفعة (أنظر (1.13). بصفة عامة بأن الترب الرملية والسيلتية تكون منخفضة في محتواها من الحديد النشط، ولهذا السبب فأنها تميل إلى إظهار جهد الرودكس منخفض. وتحت مثل هذه الظروف قد ينتج عنها تركيزات عالية من Fe^{2+} تضر بنباتات الأرز. وسمية الحديد للنباتات تعرف بالمرض الخناق (الاختناق) أو البرونزي (Bronzing) أنظر إلى (1.13). وجود هذا المرض يعتمد على قوة الأكسدة لجذور الأرز. وهذه القوة المؤكسدة ناتجة من إفراز الأكسجين الذي يسبب في ارتفاع الجهد الرودكس في المنطقة القريبة من الجذور (الغلاف الجذري أو الروزوفيير) ومن ثم يخفض من مستوى Fe^{2+}.

يترسب Fe^{3+} جزئياً على شكل أوكسيدات الحديد على سطح الجذور معطياً للجذور اللون البني المحمر. حيث يدل هذا اللون على الجذور السليمة. ويترسب FeS على سطوح الجذور، ويكون لون الجذور أسود كما هو موضح بالصورة (1.2) أو طبقاً لما أورده Trolldenier, 1973 فإن القوى المؤكسدة لجذور الأرو تعتمد على إمداد المحصول بالبوتاسبوم. مرض الخناق يكون غالباً مصحوباً بنقصان في البوتاسيوم (K).

إن خواص قطاع تربة حقل الأرز يمكن ملاحظتها، كما هو موضح في الشكل (8.2). عند السطح العلوي للتربة المغمورة بالماء توجد طبقة رقيقة القوام ذات عمق 1سم، إذ تعرف هذه بالطبقة المؤكسدة حيث يسود فيها الظروف الهوائية بسبب الأكسجين العائد من الماء. ويكون لون الطبقة محمراً، ويجد فيها الحديد أساساً في صورة حديديك Fe^{3+}. ونزعه الأكسدة هذه يستدل عليها بالجهد الرودكس العالي (< 0.4)، والنيتروجين يوجد على

شكل ذرات NO^{3-} وتحت هذه الطبقة منطقة اعرض منها ذات ظروف لا هوائية لونها أزرق رمادي بسبب وجود الحديدوز Fe^{2+}.

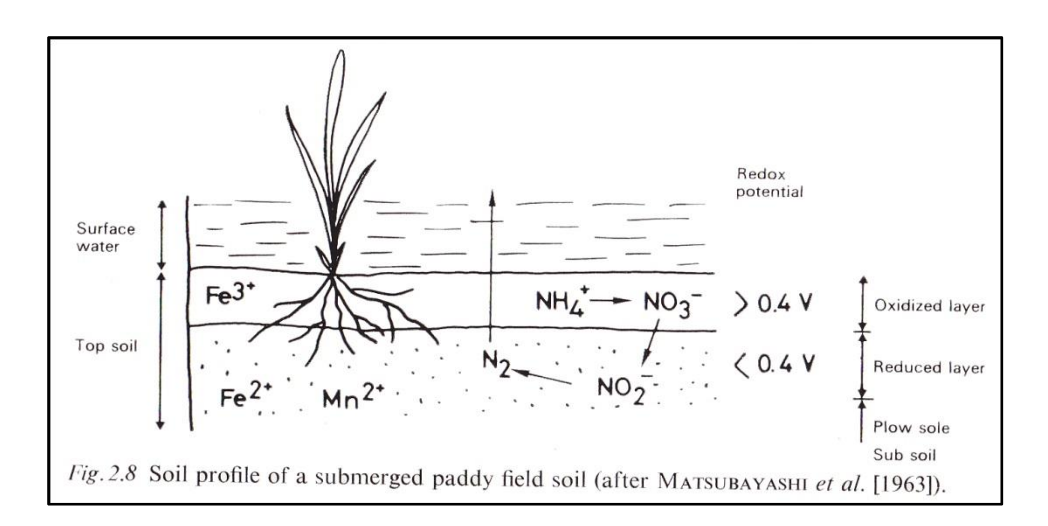


Fig. 2.8 Soil profile of a submerged paddy field soil (after MATSUBAYASHI *et al.* [1963]).

وهنا نشأت أو نتجت النترات (NO_3) من الطبقة المؤكسدة التي اختزلت إلى نتروجين N_2 أو أكسيدات النتروجين، بما أن هذه المركبات طيارة فهي يمكن أن تفقد من نظام التربة، ولهذا السبب لا ينصح باستعمال النترات في ترب حقول الأرز (Matsabayashi et al., 1963).بغض النظر عن النتروجين الأمونيوي سواء أضفت كسماد أو أنتجت أثناء تحلل المواد العضوية المحتوية على المركبات النتروجينية، فإنه يمكن أن يفقد خلال عمليات عكس التأزت (النيترة) Denitrification (فقد النتروجين على شكل غازات).



Plate 2.1 Upper part, normal rice roots growing under an optimum redox potential; lower part, rice roots affected by too low a redox potential, lateral roots are covered with a black coating of FeS. (Photo: TROLLDENIER)

وضح (Patrick and Reddy, 1977) بأن NH^{+}_{4} يمكن أن ينتشر من الطبقة المنخفضة إلى السطوح الرقيقة لطبقة التربة المؤكسدة، والتي فيها يمكن أكسدة الأمونيوم إلى نترات وإذا أنتقلت هذه النترات إلى المنطقة الأعمق من التربة والتي تكون فيها ظروف إختزالية تؤدي إلى عملية عمس التأزت (النترة). كذلك فإن الغمر بالماء يؤثر على تيسر المغذيات النباتية الأخرى غير النتروجين Ponnamperuma (1978) ويزداد تيسر الفوسفور بصفة عامة وهذا يعود جزئياً إلى انطلاق للفوسفور الممسوك Occluded phosphate وذلك بعد اختزال Fe^{3+} إلى Fe^{2+} على قشرة أوكسيدات الحديد، وأيضاً جزئياً إلى التحلل المائي $Fe(OH)_3$. بالإضافة لذلك فإن الغمر بالماء يحفز على تحلل هكسافسفات Inositol hexaphosphate (Dalal, 1978). يرتفع محتوى الكاتيونات الذائبة نتيجة التبادل الكاتيوني الراجع إلى أيونات الحديدوز Fe^{2+} و Mn^{2+} الذائبة. كبريتيد النتروجين (Hydrogen sulphide) المنتجة تحت ظروف الاختزال تتكون ترسيبات (الكبريتيدات) مع Feو Cu وZnو Mn والتي تؤثر على تيسير هذه العناصر المغذية ويتكون الـ FeS فإن النباتات تتجنب مستويات الحديدوز Fe^{2+} السامة. وليس لتكوين الكبريتيدات تأثير رئيسي على الكبريت S المتاح.

حيث يمكن أن تتأكسد الكبريتيدات بوساطة البكتريا في منطقة الغلاف الجذري (الريزوسفير Rizospher) (Ponnamperuma, 1972). كما ذُكر سابقاً بأن الغمر بالماء نتج عنه زيادة في الرقم الهيدروجيني للتربة ولكن في الترب الجيرية والترب الصودية فإن غمرها بالماء يؤدي إلى انخفاض الرقم الهيدروجيني (pH). وهذا الانخفاض ناتج من تحلل ثاني أكسيد

الكربون CO_2. والتراكم العالي لثاني أكسيد الكربون CO_2يمكن أن ساماً لنبات الأرز (Cho and Ponnampeuma, 1971).

إن ظروف الاختزال في ترب حقول الأرز تحدث أيضاً لكثير من الترب الأخرى حيث رداءة الصرف. إن ظروف الاختزال هذه يستدل عليها بوجود الألوان الزرقاء الرمادية في القطاع وهي ناتجة من الحديدوز Fe^{2+} والعملية المرتبطة اللاهوائية تسمى Gleyling. وأحياناً يصاحب الألوان الزرقاء الألوان البنية المحمرة في المناطق ذات التهوية الجيدة. وهذه تعطي غالباً المظهر المبرقش لقطاع التربة الذي يتصف برداءة الصرف (Crompton, 1952 ;Schicting and Schwertmann 1973).

5.2.2 **الرقم الهيدروجيني للتربة (pH)**

إن تركيز أيون الهيدروجين H^+ في التربة، وأيضاً في السوائل الفسيولوجية تكون منخفضة إلى حد كبير ولهذا السبب يعبر عنه بمصطلح الرقم الهيدروجيني pH. ويعرف الرقم الهيدروجيني بأنه اللوغاريتم السالب التركيز التبادلي لأيون الهيدروجين في المحلول ويعبر عنه رياضياً كالآتي:

$$pH = \log \left[\frac{1}{[H^+]} \right]$$

حيث أن $[H^+]$ هو تركيز أيون الهيدروجين بالمول لكل من المحلول ومقياس الـ pH يكون لوغاريتم ويتراوح من صفر إلى 14 وعلى أساس هذا فإن سبعة تكون قيمة متبادلة

وفيها يكون H^+ مساوياً لـOH^- وتحت قيمة 7 تعني حامض وفيها يكون تركيز أيون الهيدروجين أكثر من تركيز أيون الهيدروكسي وأعلى قيمة 7 تكون الحالة بالعكس. ولكل وحدة نقصان في الـ pH يكون هناك زيادة بمقدار 10 أضعاف في تركيز الهيدروجين (H^+) ونقصان في تركيز الهيدروكسيد بمقدار 10 أضعاف.

في التربة يمكن التمييز بين الحموضة الفعلية (Actual acidity) والتي هي تركيز H^{2+} لمحلول التربة، والحموضة الكامنة (Potential)، وهي تضم أيضاً أيونات H^+ المدمصة على غرويات التربة، والحموضة الفعلية التي ذكرت أولاً يمكن تقديرها بسهولة بقياس الرقم الهيدروجيني pH لمحلول التربة في حين يكون تقدير الحموضة الكامنة متضمناً أيونات الهيدروجين H^+ المتبادلة باستخدام أنواع كاتيونية أخرى قبل قياس لـ pH. ويقدر الرقم الهيدروجيني للتربة بصورة عامة في مستخلص باستعمال الماء أو في الـ KCl. باستعمال مستخلص KCl فإن بعض H^+ المدمص تُزاح بالبوتاسيوم (K^+). ولهذا فإن الـ pH المقاس في مستخلص الـ KCl لنفس العينة يكون أقل مما هو عليه في مستخلص الماء.

إلى جانب الحموضة الفعلية تعتبر السعة التنظيمة للتربة مهمة، حيث أن أيونات الهيدروجين الناتجة من العمليات المختلفة في التربة تنظم بوساطة غرويات التربة. وأساس العملية التنظيمية موضح الرسم (9.2) حيث تحل أيونات الهيدروجين محل أنواع كاتيونية أخرى وتدمص أيونات الهيدروجين على غرويات التربة. ومن هنا يكون واضحاً بأن التربة الغنية بالغرويات العضوية وغير العضوية يكون لها سعة تنظيمية عالية لأيون الهيدروجين شريطة أن تكون نسبة عالية من السعة التبادلية مشبعة بأنواع كاتيونية أخرى غير الـ H^+.

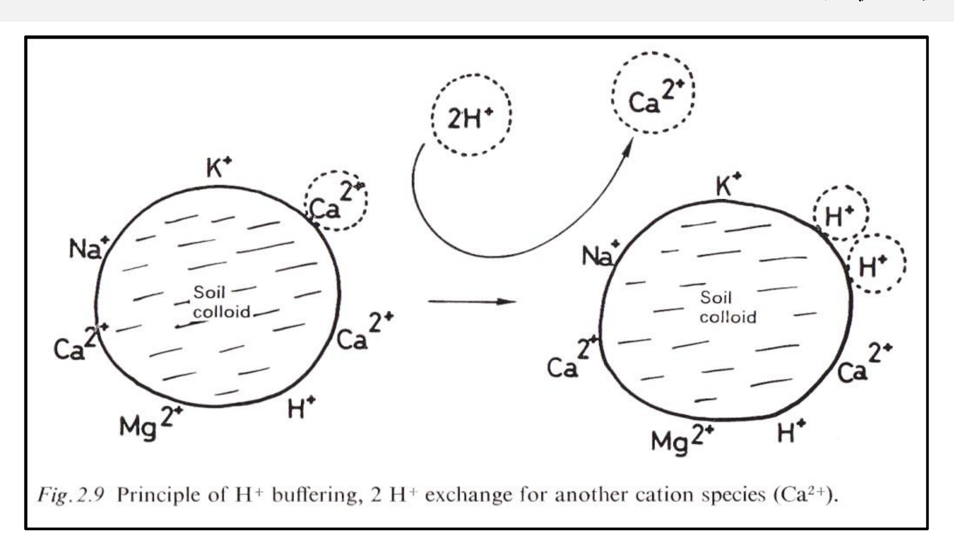


Fig. 2.9 Principle of H^+ buffering, 2 H^+ exchange for another cation species (Ca^{2+}).

إن قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) للتربة قد تختلف بشكل كبير، تكون قيمة ما بين 3 إلى 10، حيث تكون القيم منخفضة في التربة الرمادية (تربة البودزول (Podzolic soil) والتربة الحامضة الكبريتية (acid sulphate) وتكون القيم العالية في التربة الجيرية (Calcareous soils) والقاعدية (alkali soils) وخاصية قيم الـ pH (المقدرة باستخدام الملح) المرتفعة يمكن أن تظهر في محلول التربة المحتوي على الأحماض الخفيفة (HCO_3) والقواعد القوية (Na^+ و K^+).

إن تركيز الهيدروجين (H^+) في محلول التربة له تأثير واضح على العديد من مركبات التربة، وخاصة المعادن والكائنات الحية الدقيقة للتربة وجذور النباتات، ارتفاع تركيز H^+ يساهم في تجوية العناصر التي ينتج عنها تحرر لمختلف الأيونات مثل K^+و Mn^{2+}و Ca^{2+} و Cu^{2+} و Al^{+3}. وقابلية ذوبان الأملاح التي تشمل الكربونات والفوسفات والكبريتات

تكون عالية في الرقم الهيدروجيني المنخفض. إن انطلاق الAl من معادن الطين في صور مختلفة يعتمد على الرقم الهيدروجيني pH إلى حد كبير. ويدمص الألومنيوم بوساطة معادن الطين في صورة $Al(OH)^{2+}$ أو $Al(OH)_{2+}$ (Jenny, 1961) ومن نتائج (Lathwell and Peech 1964) الموضحة في الشكل 10.2. وجد بأن الادمصاص يصبح ضعيفاً بانخفاض الرقم الهيدروجيني، وينتقل كثير من Al الذائب إلى محلول التربة في التربة الحامضية، ويقل تركيز الألومنيوم Al الذائب عند التربة المرتفعة المستويات pH، والتي تقع في مدى ما بين 6.5–7. بما أن Al الذائب يمكن أن يكون ساماً للنبات فإن الرقم الهيدروجيني كل الترب المحتوية على كميات عالية من معادن الطين يجب أن يحافظ عليه في معدل اعلى من 6.5. حيث يمكن مشاهدة التأثير الضار للألومنيوم Al على نمو النبات في جدول (8.2) من أبحاث (1953) Vlamis . والجدول يوضح حاصل إنتاجية المادة الجافة لمحصول الشعير النامي في المحاليل تحت قيمتين مختلفتين للرقم الهيدروجيني pH وعند مستويات مختلفة من الألومنيوم Al. وعند الرقم الهيدروجيني 4.2 كانت الإنتاجية الحاصلة عالية نسبياً بمقارنتها بالمعاملة ذات الرقم الهيدروجيني 5.8، شريطة أن يكون تركيز الألومنيوم في المغذي منخفضاً. وعندما يزيد تركيز الألومنيوم في المعاملة ذات الـ pH 4.2 تتناقص إنتاجية المادة الجافة بشكل كبير. وهذه النتائج تشير بوضوح إلى أن تركيز الـ Al وليس انخفاض الرقم الهيدروجيني في محلول التربة كان العامل المحدد للنمو في هذه الحالة. وطبقاً (1966) Adams and Lund فإن للـ Al خاص على نمو الجذور.

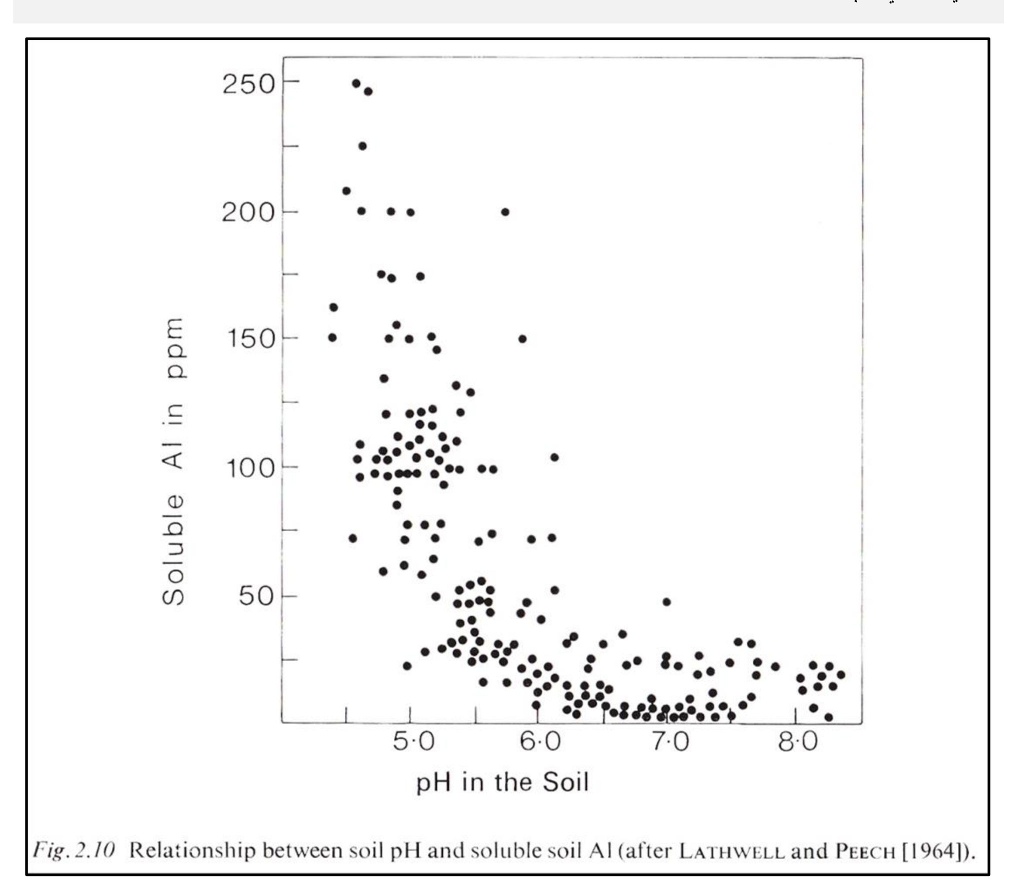


Fig. 2.10 Relationship between soil pH and soluble soil Al (after LATHWELL and PEECH [1964]).

وفي تجارب لهذين الباحثين على نبات القطن وجدا أضراراً بالغة في الجذور عندما كان محلول التربة يحتوي على تركيز Al في معدل 1.1 $^{-5}$ مولر.

Table 2.8 Effect of the Al^{3+} concentration and pH on the growth of barley (VLAMIS [1953])

pH	Al in ppm	Yield DM in mg
4.2	1.8	139
4.2	0.35	315
5.8	0.30	353

Table 2.9 Optimum pH values measured in KCl extracts for various soil classes (SCHACHTSCHABEL [1963])

Soil class		optimum pH range
	Clay content	
Sand	< 5%	5.3–5.7
Sand	5–10%	5.8–6.2
sandy loams	10–15%	6.3–6.7
silty loams and clay	> 15%	7.0–7.5
	organic matter	
humic sands	5–10%	5.0
humic sands	10–20%	4.8–5.0
peats	> 20%	3.8–4.0

إن الرقم الهيدروجيني الأمثل لنمو النبات له علاقة بقوام التربة Schachtschable, 1963 حيث يكون منخفضاً كثيراً في الترب العضوية ويرتفع بالتربة المعدنية في زيادة محتواها من الطين (جدول 9.2)، لأن الرقم الهيدروجيني يجب أن لا يكون مرتفعاً خاصةً في التربة العضوية، حيث أنها بطبيعتها فقيرة في العديد من المغذيات النباتية وبالتالي فإن الـpH المرتفع يزيد من عدم تيسرها (Lucas and Davis (1961) . وهذه تكون حالة خاصة للفوسفور والبورات والمنجنيز والنحاس والزنك. وكما يمكن ملاحظتها من الشكل 11.2. بأن قيم الرقم الهيدروجيني التي في الشكل لا يمكن مقارنتها تماماً مع النتائج في جدول (9.2)، حيث القيم في الشكل 11.2 تشير إلى قياسات pH مقيدة بوساطة الماء، بينما النتائج في جدول (9.2). تكون مقدرة في مستخلص KCl.

كذلك فإن الرقم الهيدروجيني للتربة يؤثر في وجود الكائنات الحية الدقيقة في التربة. بصفة عامة تكون الفطريات السائدة في التربة والمنطقة المجاورة للجذور (الغلاف الجذري

Rhizospher) عند الرقم الهيدروجيني المنخفض بمعدل أقل من 5.5 بينما عند المستويات العالية من الرقم الهيدروجيني تكون البكتريا أكثر وفرةً (Trolldenier, 1971). ولإن التأزت كل من NH_4-N و NO_2-N تقوم بكتريا النتروسوموناس (Nitrosomonas) ونتروباكتر Nitrobacter تعتمد بشكل كبير على الرقم الهيدروجيني للتربة، لأن هذه البكتريا تفضل ظروف التربة المتعادلة. وهذا هو السبب في أن التربة الشديدة الحامضية يكون المحتوى الطبيعي للنترات فيها منخفضاً. تثبت جزيئات النتروجين N الهوائي بوساطة الكائنات الحية الدقيقة حرة المعيشة (مثل وأزتوبكتر Azotobacter وكلوستريديم Clostaidium) وبوساطة الكائنات الحية الدقيقة ذات المعيشة التكافلية مقل الرزبيوم Rhizobium وActinomyces، وأيضاً بكتريا الدنترة التي تقوم بعملية عكس النيترة تفضل الرقم الهيدروجيني المتعادل أكثر في التربة. وأنواع Beijerinckia التي هي أهم الكائنات ذات المعيشة الحرة التي تثبت N_2 في ترب المناطق الاستوائية تكون أقل حساسية من المستويات الرقم الهيدروجيني المنخفضة.

وهذا هو السبب الذي يجعل مستوى الرقم الهيدروجيني في التربة العضوية يبدو عالياً إلى حدٍ ما كم أوضح (Lucas and Davis, 1961).

الرقم الهيدروجيني في سيتوبلازم الخلايا النباتية يكون في معدل ما بين 7– 7.5 بينما تكون قيمة في عصير الفجوة الغذئية منخفض بصفة عامة وفي معدل (Smith and Raven 1979) ويستخدم هذا الرقم الهيدروجيني الحمضي البسيط نوعاً في المحلول الاستنباتي، وبأن أفضلية للظروف المتعادلة أو القاعدية. النباتات تستجيب وبأفضلية للقيم المرتفعة في pH كما هو الحال في بيئة التربة، وهذا أمر طبيعي بسبب التأثيرات الثانوية الناتجة على زيادة الـ pH.

وهذا يشمل تخفيف سمية الألومنيوم Al والمنجنيز Mn وكذلك يؤدي إلى زيادة تيسر المولبيديم Mo والفوسفور P.

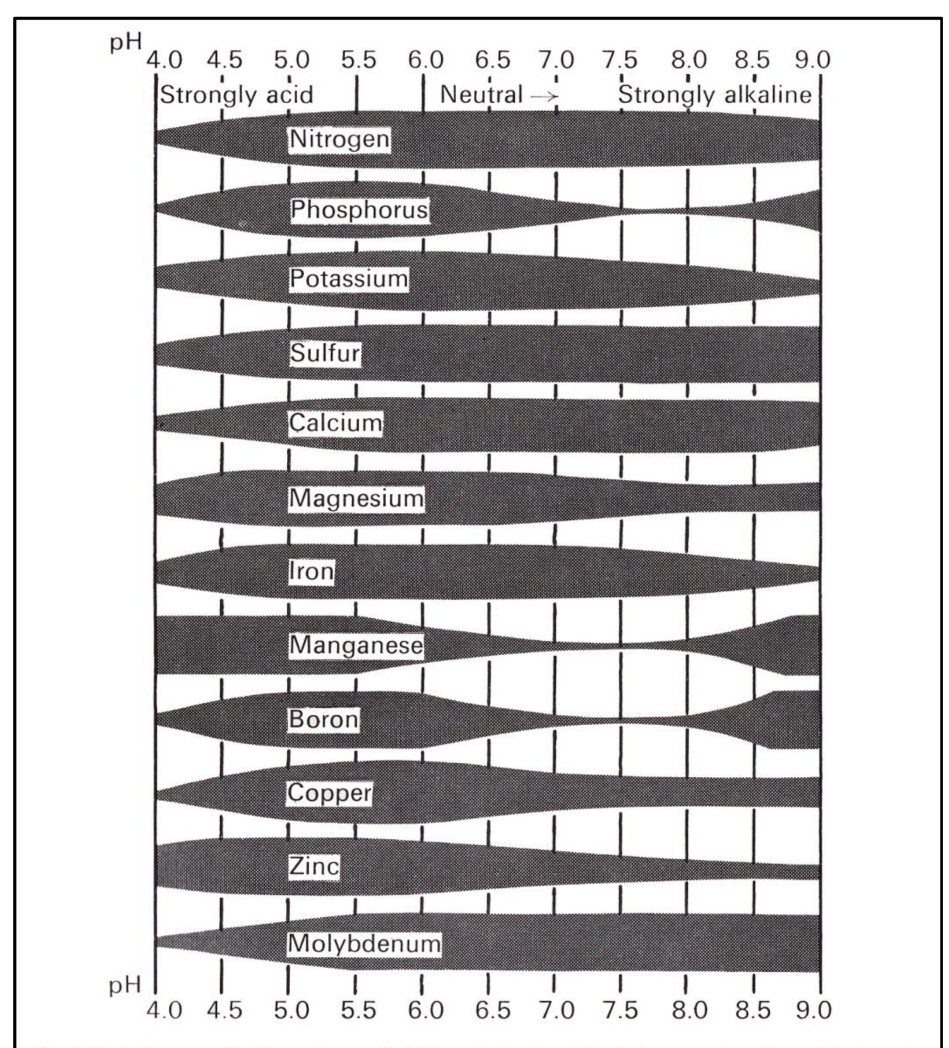


Fig. 2.11 Influence of pH on the availability of plant nutrients in organic soils; widest parts of the shaded areas indicate maximum of availability (after LUCAS and DAVIS [1961]).

معدل امتصاص العديد من المغذيات النباتية يعتمد أيضاً على الرقم الهيدروجيني، تضم الأنيونات عامة النترات والفوسفات ويتم امتصاصها بمعدلات عالية في مدى الرقم الهيدروجيني الحمضي الضعيف. وفي حالة الفوسفات فإن الرقم الهيدروجيني ينظمه نسبة HpO_4^{2-} إلى HpO_4^- في محلول التربة. وهذه أيضاً يزهر أن لها تأثير على امتصاص الفوسفات. (أنظر (1.2.9) إن معدل امتصاص الكاتيونات يبدو أنه عالٍ في مدى الرقم الهيدروجيني الذي يكون أكثر اعتدالاً (Arnon et al., 1942) عند مستويات الرقم الهيدروجيني المنخفضة جداً (أقل < 3.0) تضعف الخلايا الغشائية وتصبح أكثر نفاذية. مما ينتج عنها تسرب المغذيات النباتية بخاصة البوناسيوم K^+ (Marphy, 1959) الذي ينتشر إلى خارج خلايا الجذر إلى محلول التربة. وهذا التأثير الضار للتركيزات العالية لأيون الهيدروجين H^+ على الأغشية الحية (البيولوجية) بوساطة الكالسيوم Ca^{2+} (Jacobson et al., 1960) والعلاقة بين الرقم الهيدروجيني للتربة، امتصاص المغذيات وفسلجة النبات تم شرحها من قبل (Rorison, 1980) وبدرجة مختلفة للامقاومة تركيز الهيدروجين H^+ في محلول التربة وكذلك الأنواع النباتية قادرة وبدرجة مختلفة على مقاومة تركيز الهيدروجين في محلول التربة. وكذلك التأثيرات المصاحبة التي يحدثها هذا التغير للرقم الهيدروجيني في التربة (Hackett 1964). وعليه فإن أقصى مدى الرقم الهيدروجيني لكي يصل نمو كل محصول يختلف من محصول إلى آخر، وحدود الرقم الهيدروجيني المعروضة في جدول (10.2) تستعمل كدليل فقط. حيث يكون هناك اختلاف كبير، نتيجة تأثيرات الاختلافات في أصناف المحاصيل الزراعية وتأثير المناخ، وظروف التربة. إن معدلات الرقم

الهيدروجيني وقيمه المبينة في جدول 10.2 تم الحصول عليها يظهر أن حدود الـpH واسعة تحت الظروف المناخية المعتدلة (Klapp, 1951). حيث يبدو أن المجال الحدودي للرقم الهيدروجيني واسع، ولكن يجب أن يؤخذ في الاعتبار بأن الرقم الهيدروجيني في الغالب ليس هو العامل المحدد للنمو فقط، بل هناك عامل أو عوامل ثانوية والتي تعتمد على الرقم الهيدروجيني. مثال لهذا النوع من العلاقة تبينها نتائج (Evers, 1963) بشكل جيد جداً الذي درس نمو نبات الصنوبر Picea بالعلاقة بالرقم الهيدروجيني وجود عنصر النتروجين في وسط المغذي. حيث وجد أن نبات الصنوبر Picea وينمو بصورة ضعيفة جداً في التربة الحامضية.

Table 2.10 Optimum pH ranges (pH in KCl extract) of various crop plants, according to (Klapp [1951])

Crop	pH range
Lucerne	6.5–7.4
Barley	5.3–7.4
Sugar beet	6.4–7.4
Clover *(Trifolium pratense)*	5.3–7.4
Wheat	4.1–7.4
Peas *(Pisum sativum)*	5.3–7.4
Oats	4.0–7.0
Potatoes	4.1–7.4
Rye *(Secale cereale)*	4.1–7.4
Lupins	4.1–5.5

مع ذلك لوحظ بأن النباتات نمت بصورة جيدة عند الرقم الهيدروجيني المنخفض الذي يصل إلى 3.3 علماً بأن يتم تزويد النباتات بالنتروجين على صورة النترات NO_3-N. أما تحت الظروف الطبيعية للترب شديدة الحامضية يثبط التكوين الميكروبولجي (إنتاج)

للنترات NO^-_3. ولهذا السبب لقد استنتج بأن غياب النترات NO_3. يؤدي إلى النمو الضعيف للنبات الصنوبر Picea في مثل هذه المواقع الحامضية.

إن الرقم الهيدروجيني للتربة يمكن تعديله بإضافة المواد الكيميائية (كيماويات) التي تحدث انخفاضاً في تركيز أيون الهيدروجين وتناولنا هذا بالتفصيل في (1.3.1).

إن معظم الترب المتكونة تحت الظروف المعتدلة تميل إلى أن تصبح حامضية. أن تكوين H^+ ناتج بدرجة كبيرة من تحلل مادة التربة العضوية. والتخطيط في الرسم 12.2 يوضح العمليات الرئيسية المشاركة في إنتاج H^+. ثاني أكسيد الكربون CO_2 المتكون نتيجة التحلل الميكروبولوجي للمواد العضوية بتفاعل مع ماء التربة ليكون H^+ و HCO_3.

$$CO_2+H_2O \leftrightarrows H^+ + HCO^-_3$$

يعتمد توازن المعادلة على الرقم الهيدروجيني التربة حيث بزيادة الرقم الهيدروجيني يتحول التوازن في صالح H^+ . وفي التربة القاعدية HCO_3 ينفصل وينتج عنه تكوين أيونات الهيدروجين (H^+) أخرى.

$$HCO^-_3 \leftrightarrows H^+ + CO_3^{-2}$$

ومن ناحية أخرى، تحت الظروف الأكثر حامضية (الرقم الهيدروجيني < أقل 5.2) يضعف إنتاج وتكون أي H^+ بوساطة إنتاج CO_2 والنتيجة الحقيقية إن حالة التوازن تحولت في صالح CO_2 .

إن التحلل الميكروبي للمادة العضوية ينتج عنه أيضاً NH_3 و H_2S. وكلا هذان المركبات يتأكسدان في التربة إلى أحماض غير عضوية (معدنية) قوية (النتريك والكبريتيك) وبذلك تخفض الرقم الهيدروجيني للتربة. إن لـ SO_2 و NO^-_2 للغلاف الجوي يسببان في

حموضة التربة كما بين الرسم 12.2. حيث الزيادة النسبية في الالكترونات التربة المغمورة ينتج عنها احتزال لـH^+ تبعاً للتفاعل الكلي، هذه العملية تؤدي إلى زيادة الرقم الهيدروجيني كونها تستهلك H^+ (Ponnamperuma 1972) وأكسدة Fe^{2+} إلى Fe^{3+} يصاحبها إنتاج الـــ H^+ (أنظر الشكل 12.2).

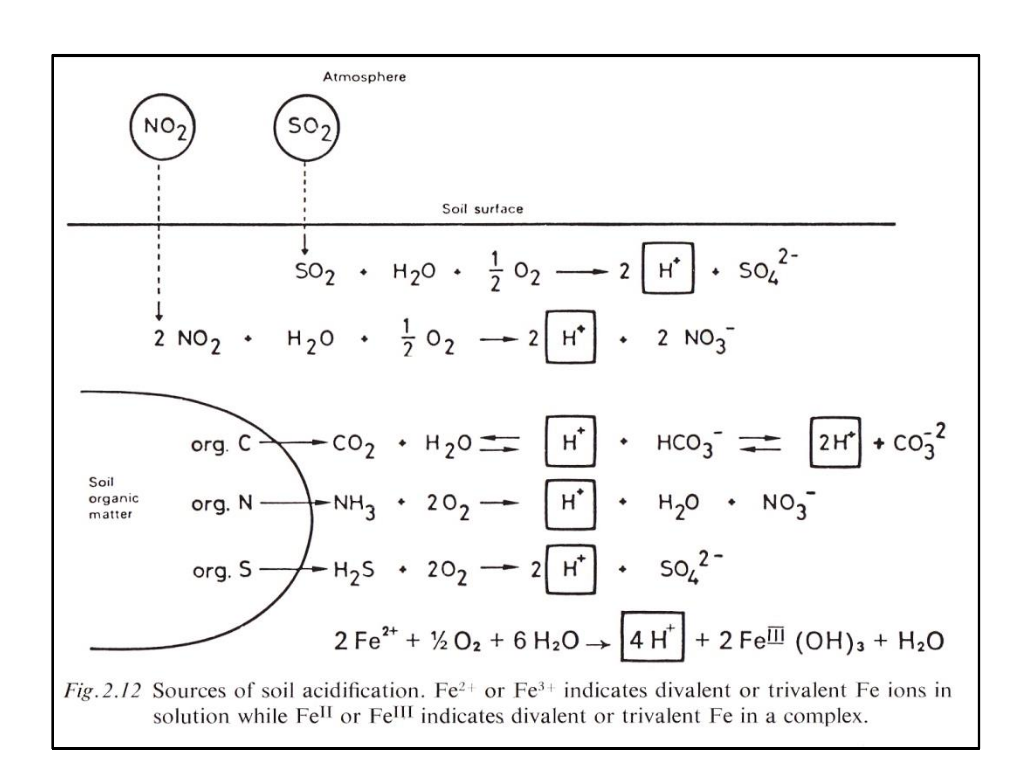


Fig. 2.12 Sources of soil acidification. Fe^{2+} or Fe^{3+} indicates divalent or trivalent Fe ions in solution while Fe^{II} or Fe^{III} indicates divalent or trivalent Fe in a complex.

بالإضافة للعمليات المذكورة أعلاه، يمكن أن تؤثر جذور النبات على الرقم الهيدروجيني للتربة بإفراز H^+ أو HCO^-_3 وهذه ذات أهمية خاصة في منطقة الغلاف الجذري والتي لها تأثير على العمليات الكيميائية والبيولوجية في هذه المنطقة.

6.2.2 الملوحة

ملوحة التربة تعتبر مشكلة على نطاق عالمي واسع. تتميز التربة المحلية بزيادة في الأملاح المعدنية (غير عضوية) وتظهر بدرجة أكثر في المناطق الجافة وشبه الجافة. وتحت هذه الظروف تتراكم الأملاح في الطبقة العليا للتربة. وهذا التراكم في الغالب ينتج من البخر الذي يؤدي إلى رفع ماء الأراضي المحتوي على الأملاح، ويلاحظ التأثير بوضوح عندما يكون منسوب ماء الأرض قريباً من السطح والذي يحدث في المواقع المنخفضة والمنخفضة الميول Low Lying Sites. وينتج عن تراكم الملح في التربة انخفاض تطور لنمو المحصول بذلك تكون كل من الإنتاجية والنوعية ضعيفين. وقد تم تناول هذه المشكلة وكيف تحمّل النباتات للأملاح من قبل (Flowers et al., 1977).

يمكن تمييز توعين رئيسيين من التربة المتأثرة بالأملاح أو Halomorphic التربة الملحية (Solonchak) والتربة القلوية (Solonetz). تحتوي الترب الملحية على زيادة في الأملاح المتعادلة مثل كلوريدات وكبريتات الصوديوم Na والماغنيسيوم Mg^{2+}. وبعض الأحيان تتراكم NO^2 (Charley and Mc Garity 1964). وطبقاً لـ Giskin and Majdan (1969) فإن تراكم النترات NO_3 يحدث معدنة للنتروجين العضوي ميكروبولوجياً. وبهذا فإنه يمكن تتراكم كميات كبيرة من النترات NO_3 في ترب المناطق الجافة. وفي الفترات الجافة تظهر على سطح التربة الملحية الأملاح البيضاء اللون. ولهذا السبب تعرف أحياناً بالتربة البيضاء القاعدية (White alkali soils) وإن التراكم العالي للأملاح المتعادلة يعني أن المكون الطيني للتربة المعدنية يتجمع أو يتكتل بشدة ولذلك فإنه وبصورة عامة ينتج بناء جيد

متماثل على طول قطاع التربة.

في مرحلة الغسيل المتقدمة جداً، فإن غسل بعض الأملاح السفلى من قطاع التربة، يؤدي إلى وجود أكثر من حوالي 15 % من الصوديوم Na بنسبة للأيونات المتبادلة إلى حدوث تغيرات كبيرة في تطوير التربة وتكون التربة القلوية. كما هو المتوقع من أسمها فإن التربة القلوية لها رقن هيدروجيني عالٍ (7.5 – 10.0). وهذا نتيجة لوجود Na_2CO_3 و $NaHCO_3$ بصورة كبيرة والتي يمكن تحللها مائياً.

$$Na^+ + HCO_3^- + H_2O \leftrightarrows Na^+ + OH^- + H_2CO_3$$
$$Na^+ + CO_3^{2-} + 2\,H_2O \leftrightarrows 2Na^+ + 2OH^- + H_2CO_3 2$$

مكونة الـOH المصدر الرئيسي لكل من Na_2CO_3 و $NaHCO_3$ التي هي أصلاً من ثاني أكسيد الكربون CO_2 الناتج بوساطة الكائنات الحية الدقيقة والجذور التي تسبب في ارتفاع أيونات البيكربونات والكربونات. وعندما توجد كميات كبيرة من الصوديوم Na^+ على مواقع التبادل، فإن الصوديوم يصل إلى محلول التربة ومن ثم يتكون $NaCO_3$ و $NaHCO_3$. هذه الظروف ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة كذلك وجود تراكيز من الأملاح المنخفضة نسبياً تؤدي إلى عدم تكتل أو تجمع جزيئات الطين والمادة العضوية. ويصبح بناء التربة غير ثابت بفعل الماء. ونتيجة تشتت جزيئات الدبال يكون لون التربة أسود، ولهذا فهي تعرف أحياناً بالتربة القلوية السوداء (Black alkali soils). ويتحرك الطين إلى أسفل القطاع ليكون طبقة Pan في الأفق B، وهذا يعني بأن الأفق أصبح متراصاً بإحكام مما يعوق اختراق أو تحلل الجذور (Szaboles, 1971). للتربة القلوية السوداء بناءً ضعيفاً وتصبح لزجة عندما تكون

رطبة وتكون تكتلات صلبة متماسكة ولا يمكن خدمتها عندما تجف وهذه بالإضافة إلى ارتفاع الرقم الهيدروجيني تكون المؤشرات الأولية التي تسبب في ضعف نمو المحصول وأيونات الصوديوم والكربونات هما الأكثر وفرة في قطاع التربة (Rolkov, 1971).

إن إجمالي التركيز الأيوني في محلول التربة الملحية والقلوية يمكن أن يصل إلى مستويات يمكن لها أن تتسبب في إنمكاش بروتوبلازم (Plasmolysis) خلايا جذور النبات. خصوصاً جذيرات الجذور النامية التي تكون حساسة إلى تركيزات العالية للأيونات في محلول التربة. وأن العائق الآخر الناتج منه لارتفاع التركيز في محلول التربة هو أرتفاع الضغط الأسموزي، والذي يربط ماء التربة يجعله أقل تيسراً لجذور النبات. والآلية التي تقيد الماء التربة أسموزياً يوضحة بتفصيل أكثر في (1.6.4) مع المظاهر الفسيولوجية للملوحة. وهنا يجب أن نؤكد بأن نمو النبات يتقيد في التربة الملحية والقلوية نتيجة لعدم توافر الماء (Bernstein and Hayward, 1958). إن التركيب الأيوني لمحلول التربة للترب المتأثرة بالأملاح تكون أيضاً ليست في حالة توازن نسبة إلى احتياجات النمو الطبيعية للنباتات حيث تظهر مستويات من Ca^{2+} و K^{+}، ويمكن أن توجد تركيزات سامة لبعض أنواع الأخرى مثل البورات وربما البيكربونات والكلوريدات والصوديوم والماغنيسيوم. وتحت الظروف اللا هوائية قد يصل تركيز الحديد وأيونات الكبريتيد إلى مستويات سامة، وتوجد عدة إجراءات يمكن اتخاذها لتحسين التربة، التي تكون متأثرة بالملوحة، وهذه المشكلة قد شرحت في (1.3.11).

تقاس درجة الملوحة غالباً في مستخلص الماء لأي تربة عن طريق التوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity). وهذه القياسات يعبر عنها بمملموز / سم الذي يكون له

علاقة عكسية مع المقاومة الكهربائية. ويعني التوصيل الكهربائي العالي بأن تركيز الأملاح لمستخلص التربة عالٍ. ولا يكون التوصيل الكهربائي للترب المتأثرة بالأملاح غالباً 20.2 ملليموز / سم في مستخلصها المشبع. وفي الولايات المتحدة الأمريكية فإن قمة 4 مللموز تعتبر حرجة للمحاصيل النباتية وبصفة عامة تنشأ مشكلة الملوحة عند ري التربة التي تكون غير منفذة للماء. حيث تحتوي مياه الري على أملاح والتي يمكن أن تبقى وتتراكم في الطبقة العليا للتربة. وفي هذا السياق فإن التربة الخفيفة القوام يكون العمل (الخدمة) فيها سهلاً نظراً لنفاذيتها العالية. ومن المستحسن تزويد التربة الثقيلة القوام بالتصريف الصناعي مع عملية الري. وقد ناقش كل من (1971) Szabolcs و (1975) Poljakoff-Mayber المشاكل المتعلقة بالملحية في ترب الـ Halomophic.

3.2 العوامل ذات العلاقة بتيسير المغذيات

1.3.2 عام

إن مصطلح تيسير المغذي يستخدم في تغذية النبات. مع ذلك قد عرف خطأ حيث يمكن اعتباره وبصورة مبسطة، بأنه ذلك الجزء من المغذي الموجود في التربة السهل المنال من قبل جذور النبات؛ ولهذا فإن مصطلح تيسير المغذي يشمل الحالة الكيميائية والفيزيائية لأي مغذي في التربة بالإضافة إلى علاقات جذر النبات التي تشمل التحول الغذائي (الأيضي) النباتي. ولهذا السبب وبالمعنى التام فإن كميات المغذيات المعدنية المتاحة في التربة لا يمكن أن تقاس أو يعبر عنها كمياً مع ذلك يكون من المناسب معرفة العوامل ذات العلاقة السببية التي تساهم في تيسير المغذي.

2.3.2 الاعتراض والتبادل بالتلامس

السؤال المهم في تيسير المغذيات هو هل تحتاج مغذيات لنقلها إلى جذور النبات أو ما إذا تكون متصلة مباشرة بالجذور عندما تشق الجذور طريقها خلال التربة، وتسمى العملية الأخيرة بالاعتراض الجذري. وهذه النظرية التي ساندت ودعمت لسنوات طويلة الاعتراض الجذري للامتصاص الكاتيونات على الأقل كانت هي نظرية التبادل بالتلامس كما افترضت من قبل Jenny and Over Staeek (1978). حيث يتصور بأن الاتصال بين الأسطح الجذور وغرويات التربة مكنّ حصول تبادل المباشر لأيون الهيدروجين H^+ المتحرر من جذور النبات مع الكاتيونات المدمصة على غرويات التربة. وحاول أن يبرهن بأن تحرير H^+ المنتج بعمليات التحول الغذائي للنبات، وأن جذور النبات يجب أن تكون قادرة على نوع وتحريك المغذيات الكاتيونية المدمصة على معادن الطين. حيث يطور بأن عملية التبادل بالتلامس هي خطوة أولى في عملية امتصاص الكاتيونات من قبل النباتات. وبدون شك بأن أيونات H^+ نتجت بوساطة جذور النبات، والتي تكون قادرة على التبادل مع الكاتيونات المدمصة على غرويات التربة. وتساءل هو ما إذا كانت العملية ستلعب دوراً رئيسياً في تيسير المغذيات و إذا ما كان التبادل بالتلامس مهماً في عمليات الامتصاص الأيوني من قبل النبات.

الشكل 13.2 يبين مواقع التبادل التلامس بعلاقة مع جدار الخلية، وغشاء البلازما لخلية الجذر. ويمكن الملاحظة بأن الكاتيونات التي عند السطح الخارجي لجدار الخلية فقط تستطيع التبادل بالكاتيونات المدمصة. على سطوح معادن الطين. يمكن الملاحظة بان الكاتيونات التي عند السطح الخارجي لجذر الخلية فقط يستطيع التبادل بالكاتيونات

المدمصة على سطوح معادن الطين.

بتبادل أيون الهيدروجين H^+ من جدار الخلية و K^+ يستطيع التحرك من معدن الطين كما هو موضح بشكل 13.2. حتى إذا حصل هذا فإن K^+ المتبادل يبقى فقط عند السطح الخارجي للجدار الخلوي، وهذا بعيداً عن المكان الحقيقي للامتصاص وهذا يحدث عند الغشاء البلازمي وهي على مسافة 1000 نانومتر من موقع التبادل بالتلامس ولا توجد دلائل بأن K^+ يكون قادراً على التحرك على الجدار الخلوي ضخماً بالمقارنة مع حجم الأيونات المعدنية ويكون الجدار الخلوي كامل التطور صلباً وسميك التركيب نسبياً والذي يحتوي عادة على قنوات مملوءة بالهواء ومحلول التربة.

وهذه القنوات تسمح طبعاً بأن تكون طريقاً سهلاً المنال للأيونات إلى الغشاء البلازمي أكثر من الجدار الخلوي. ولهذا السبب يبدو على وجه التقريب عدم الأهمية النسبية للبوتاسيوم والكاتيونات كونها الأخرى تعمل كاتيونات فعالة في نقل الأيونات بالحركة التبادلية. إن كمية المغذيات بصفة عامة التي تلامس جذور النبات مباشرة تكون صغيرة مقارنة مع الاحتياج الإجمالي للمغذيات. وهذا صحيح بصورة خاصة للمغذيات المحتاج إليها للنبات لكميات عالية (كبيرة) (Barber et al., 1963). لهذا السبب فإن عمليتي التدفق الكتلي والانتشار هي الأكثر أهمية من الاعتراض (الحجز) في حصول النباتات على مغذياتها. ودعمت هذه النظرة بالنتائج كل من (Drew and Rye 1969) اللذان وجدا بأن 6 % فقط من K^+ الكلي الذي يحتاجه نبات *Lolium perenne* قد زود من قبل حجم التربة في المنطقة القريبة للشعيرات الجذرية في الأسطوانة. لهذا السبب فإن حوالي 94 % من

البوتاسيوم الممتص كانت أصلاً من خارج حدود الشعيرات الجذرية، ولهذا أنها انتقلت إلى الجذور.

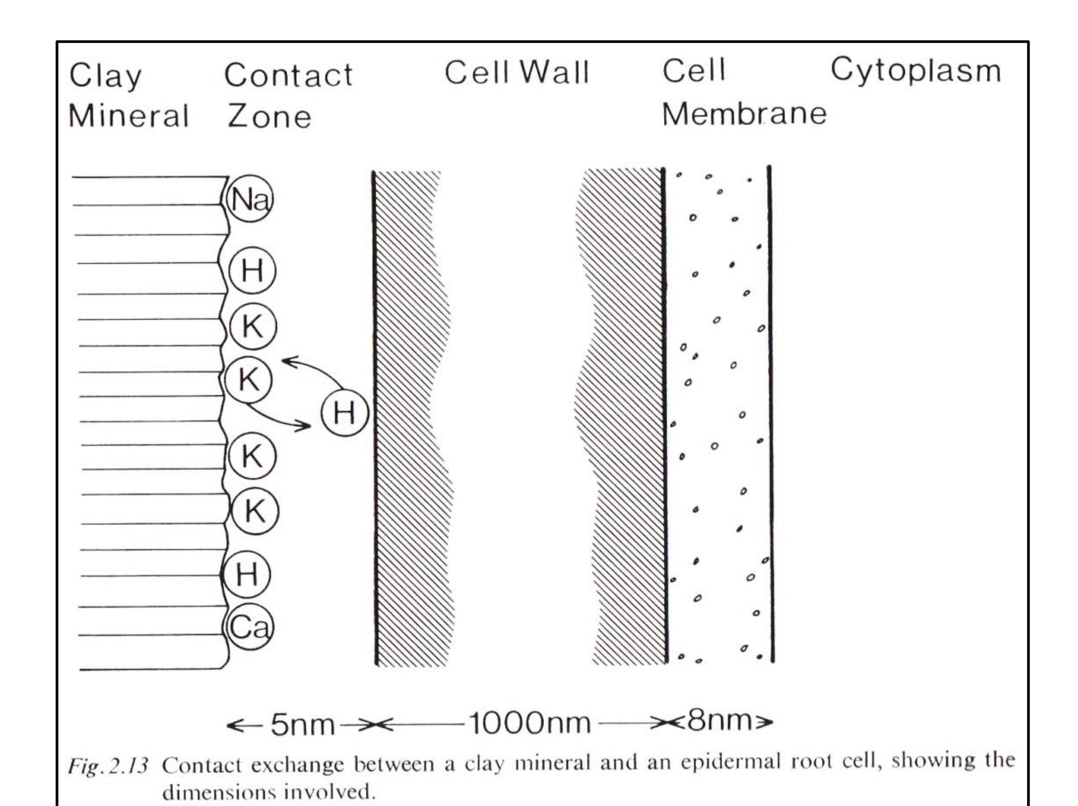


Fig. 2.13 Contact exchange between a clay mineral and an epidermal root cell, showing the dimensions involved.

3.3.2 التدفق الكتلي والانتشار

يمكن أن تنتقل المغذيات من التربة بوساطة آلتين مختلفتين. بالتدفق الكتلي وبالانتشار. يحعل التدفق الكتلي عندما تنتقل المذابات (المواد المذابة) مع التدفق للماء من التربة إلى جذور النبات. ولهذا تعتمد كمية المغذيات الواصلة إلى الجذور على معدل تدفق

الماء أو على الماء المستهلك من قبل النبات أو على متوسط تركيز المغذي في الماء. إن مستوى تركيز مغذي معين حول الجذر يمكن أن يزداد أو يقل أو يبقى ثابتاً وهذا يعتمد على التوازن بين معدل الإمداد للجذور بهذا المغذي عن طريق التدفق الكتلي وعلى معدل امتصاص من قبل الجذور.

يحدث الانتشار عندما ينتقل الأيون من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض بوساطة الحركة الحرارية العشوائية. ويجري الانتشار عندما يكون التركيز عن سطح الجذر إما أعلى أو أقل عند تركيز المحلول المحيط. وتتوجه نحو الجذور وعندما يقل تركيز عند سطح الجذر بعيد عن الجذور عندما يزداد ويتبع الانتشار قانون Ficks

$$F = -D \cdot \frac{dc}{dx}$$

حيث:

F= معدّل الانتشار (الكمية المنتشرة لكل وحدة بالمقطع العرض ولكل وحدة زمنية).

$\frac{dc}{dx}$ = (فرق تدرج التركيز) بزيادة أو النقصان.

C= التركيز.

D= معامل الانتشار.

X= المسافة.

تمتص جذور النبات المغذيات المعدنية من التربة المجاورة التي يمكن أن ينشأ عنها منطقة تجمع (منخفض تجمع Sink) تنتشر إليها المغذيات (Drew et al., 1969) . ان استنزاف أو نضوب المغذي يعتمد على التوازن بين إمداده من التربة وحاجة النبات إليه حيث تسبب احتياجات النباتات العالية أو قوة الامتصاص العالية كما أسماها Nye (1968)

بالمنطقة تجمع (Sink) قوية، ويشير هذا بأن الجذر نفسه والتحول الغذائي تؤثران على تيسير المغذيات أيضاً.

إذا كان الانتشار هو العملية الرئيسية التي تنتقل عن طريق المغذيات إلى سطح الجذر يمكن وصف كمية المغذي الممتصة من قبل الجذر تقريباً بالمعادلة الآتية (Drew et al 1969).

$$Q= 2\pi \,.\, a.\, \alpha.\, c.\, t$$

حيث:

Q=كمية المغذي الممتص لكل سم من طول الجذر.

A=قطر الجذر(سم)

α= قدرة الجذر على امتصاص المغذي لكل سم من طول الجذر.

c=متوسط تركيز المغذي عن سطح الجذر.

T=زمن امتصاص المغذي.

تركيز المغذي (c) عند سطح الجذر يمكن أن يتغير وربما يكون غالباً عند بداية الامتصاص(t) نسبياً وبعدها ينقص بالتدريج، حيث تعتمد درجة الهبوط على قدرة سعة التربة على إثراء محلول التربة بالمغذي. والمقدرة على ملئ مرة ثانية يشار إليها بالسعة التنظيمية للمغذي و التي ستناقش بالتفصيل في5.3.2. وفي هذا السياق نحتاج إن يفهم بأن مصطلح c (=متوسط تركيز المغذي عند سطح الجذر) ولا تعتمد فقط على حجم تركيز المغذي للتربة ولكن تعتمد أيضاً على السعة التنظيمية للمغذي. إن التربة ذات السعة التنظيمية العالية للمغذيات تكون قادرة أكثر على الاحتفاظ بتركيز عالٍ للمغذيات عند الجذر أكثر من التربة ذات السعة التنظيمية المنخفضة مصطلح a (=قوة (قدرة) امتصاص

الجذر) يمثل في المعادلة أعلاه نسبة المغذي الممتص من إجمالي المغذي المتدفق إلى سطح الجذر وقوة امتصاص الجذر غير ثابتة، ولكن تعتمد على التحول الغذائي للجذر وحالة المغذي في النبات (barber, 1979).

تمتص المغذيات بسرعة بجذور النبات التي عموماً تكون موجودة بتركيزات منخفضة في محلول التربة مثل NH_4^+ و K^+ والفوسفات التي تنتقل بشكل أساس إلى الجذور بالانتشار. ويمكن حساب مساهمة التدفق الكتلي (الكمي) في نقل هذه المغذيات كناتج تركيز المحلول ومعدل النتح. حيث تكون القيم متدنية إلى حد بعيد لتفي باحتياجات النبات لأي عنصر من هذه العناصر (Barber et al., 1963) ويسود الانتشار كذلك عندما يكون النتح منخفضاً.

يلعب التدفق الكتلي إلى المغذيات الموجودة في محلول التربة دوراً هاماً عندما يكون تركيزها عالياً وكذلك يكون النتح عالياً، وفي مثل هذه الظروف فإن كميات كبيرة من الماء تتحرك إلى الجذور حاملة معها مواد ذائبة مختلفة. ويمكن أن يحدث تراكمات أيونية أحيانا حول الجذر كما هو الحال مع ca^{2+} في بعض الأحيان (barber, 1974).

وفي الغالب تنتقل النترات الموجودة في محلول التربة بتركيزات عالية الى الجذور عن طريق التدفق الكتلي .(Renger and Strebel., 1976) يلعب الانتشار دورا تحت الظروف التي عندها يكون تركيز النترات في محلول منخفضا نسبيا (Menger and Casper 1981).

يحدث استنزاف للمغذيات الموجودة حول الجذر، إذا كان معدل امتصاص المغذي أعلى من معدل نقل المغذي نحو جذر النبات وهذه في الحالة بالنسبة البوتاسيوم k^+

والفوسفات (Bhat and Nye 1974) (Lewis and Quick 1967) ونمط الاستنزاف الناتج من الانتشار موضح في الشكل2.2 وهذه التجربة من عمل حيث Barber 1963 حيث كانت الدراسة على امتصاص النظر المشع Rb 86 من التربة بوساطة جذور الذرة. والبوتاسيومk^+ والروبيديوم لهما خواص كيميائية قريبة وهذا يعني انه يمكن توضح سلوك k^+ من الجانب الأيسر من الشكل الذي يتطابق مع صورة الأشعة لنفس الجذر النامي في الجانب الأيمن. وتوضح المساحات الباهتة (الفاتحة) اللون الصورة الأشعة عملية الاستنزاف للروبيديوم المشع Rb الذي يتبع مسار نمو الجذر. وتبين الخطوط الفاقعة تراكم الروبيديوم 86 في الجذور.

ينخفض الاستنزاف النسبي للمغذيات بزيادة المسافة من سطح الجذر(Lewis and Quirk 1967) وهذا موضح في الشكل 14.2 لتربيتين بمستوي مغذي أحدهما عال والآخر منخفض في كتلة التربة.

ومن الواضح أن التربة ذات مستوي المغذي العالي يكون لها انحدار حاد في تركيز، ولهذا السبب فأن معدل الانتشار إلى جذور النبات يكون أكبر. ومستوي المغذي العالي في كتلة التربة يعطي أيضا تركيز عاليا عند سطح الجذر الذي يسبب حدوث معدل امتصاص أسرع وأن الانحدار الحاد يحافظ على هذا أسرع المعدل وغالباً فأن منطقة الاستنزاف حول الجذر يمكن أن تتوسع في التربة الفنية بالمغذيات حيث أن مستوي المغذي العالي يدل دائماً على انحدار أو تدرج حاد في التركيز في الشكل 2.14 حيث اختيار هذه الحالة بالنسبة للفوسفور من قبل (Lewis and Quick 1967) ويبرهن الشكل 2.14 أيضاً بأنه يمكن

التميز بين تركيز المغذي عند سطح الجذر وتركيز المغذي في التربة .كما وضحت من قبل (Claassen and Barber 19769) فأن تركيز المغذي عند سطح الجذر يتحكم مباشرة في امتصاص المغذي كما في حالة امتصاص k^+ بوساطة نباتات الذرة اليافعة وبما أن من الصعب قياس تركيز المغذيات عند سطح الجذور يستخدم في بعض الأحيان تركيز المحلول التربة.

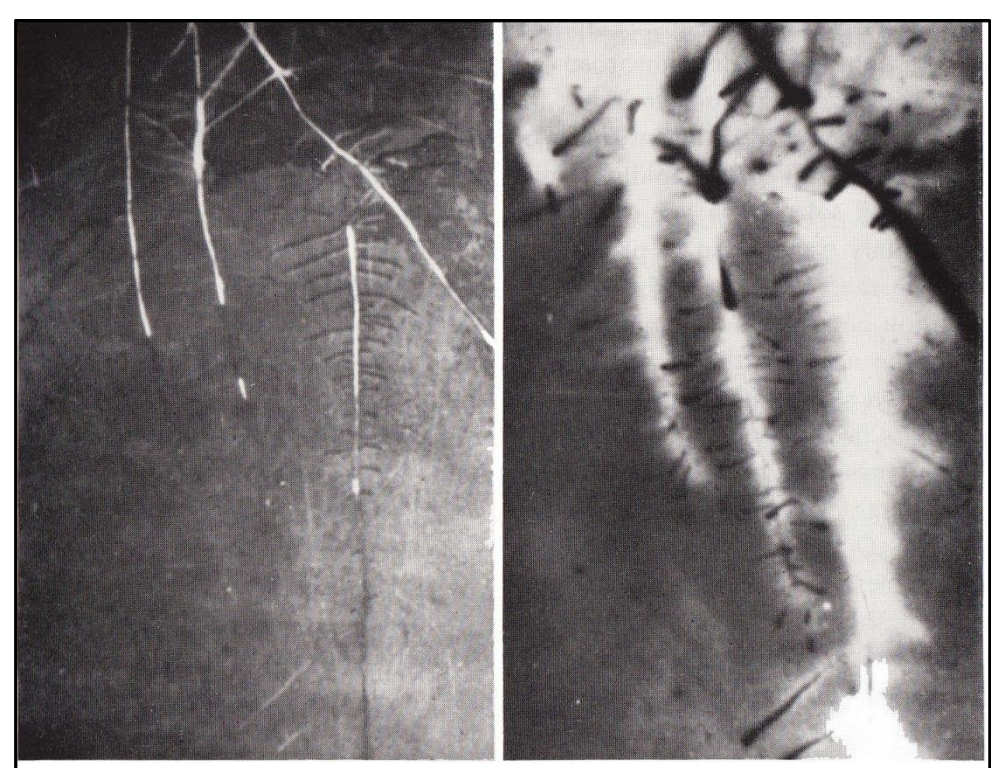


Plate 2.2 A photograph (left) and an autoradiograph (right) showing the effect of maize roots on the distribution of Rb-86 in the soil. Light areas show Rb depletion around the maize roots. (Photo BARBER)

ومن قانون Ficks الوارد في الجزء 3.3.2 يمكن فهم بأن معدل الانتشار للمغذي

يتوقف على معامل الانتشار (D) وهذا المعامل يصف قابلية الوسط لأن تنتشر فيه المواد الذائبة. فمثلا انتشار أكسجين O_2 لهواء يحدث بمعدل اكبر منه الماء نظراً للانخفاض النسبي للعناصر في الوسط المائي وقد يستعمل معامل الانتشار في بعض الأحيان في diffusivity الترب التي تميز بوصف تلك القابلية إلا أن الترب تكون يمر متجانسة، ولهذا السبب فأن عملية الانتشار فيها diffusivity يمكن أن تختلف في نطاق التربة.

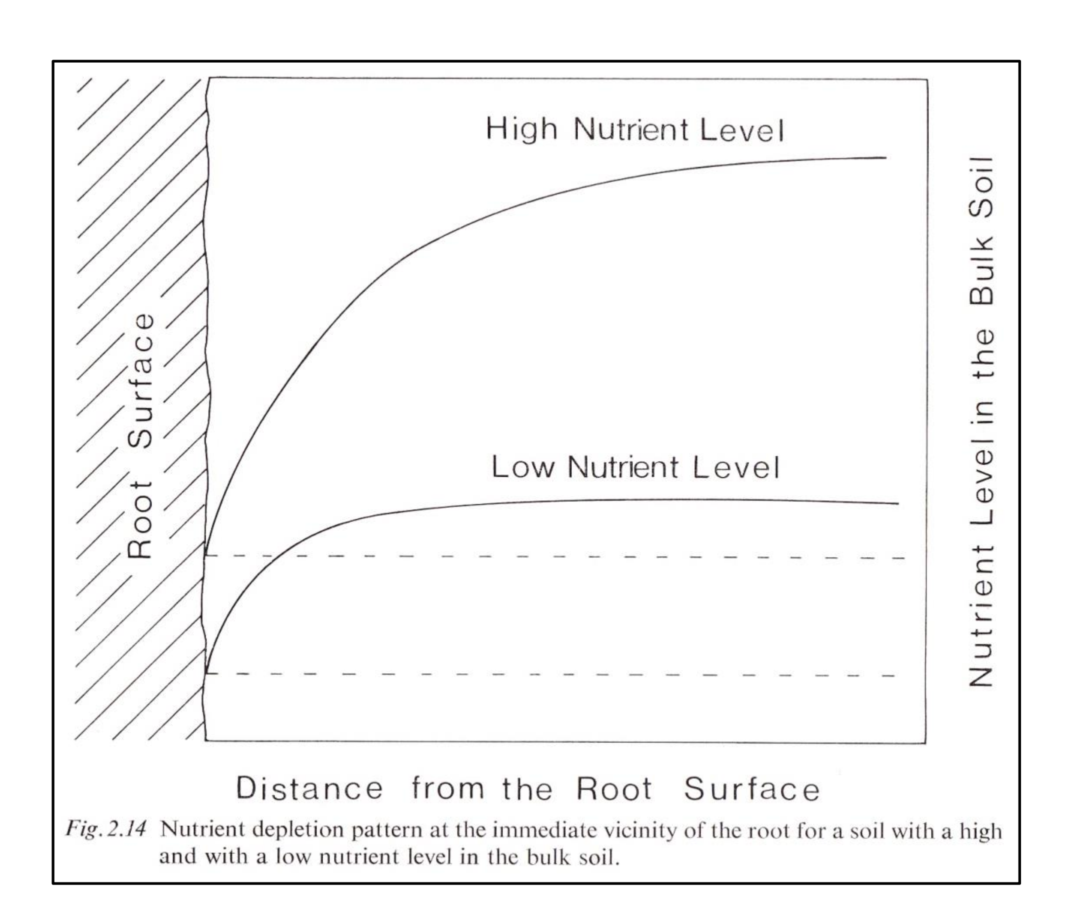


Fig. 2.14 Nutrient depletion pattern at the immediate vicinity of the root for a soil with a high and with a low nutrient level in the bulk soil.

ويعتمد معامل الانتشار على عدة عوامل في التربة، وتشمل رطوبة التربة والسعة التنظيمية للمغذي. وقدر وعيت هذه العلاقة تماماً من قبل Nye and TinKer 1977.

إن معدل حركة الأيون في التربة تعتمد بشكل كبير على رطوبة التربة سواء كانت الحركة بوساطة التدفق الكتلي أم الانتشار ولقد أجريت عدة أبحاث بيت أن رطوبة التربة تؤثر على معدل الانتشار بوضوح ولقد بين Graham-Bryce (1967) أن التربة التي محتواها من الماء 23% كان لها معامل الانتشار 1×10^{-7} / سم^2 /ثانية للروبيديوم (Rb^+) وعندما انخفض المحتوي المائي إلى 10 % فإن معامل الانتشار هبط إلى 5×10^{-8} /سم^2 /ثانية وأن اعتماد انتشار الأيون على رطوبة التربة سهل الفهم حيث أن إزالة الماء من التربة ينتج عنه زيادة في الفراغان (المساحات) بالهواء. وقد تأثرت القنوات المائية الموجودة في التربة المؤدية إلى جذور النبات حيث أن مساحة المقطع العرضي للماء الذي يسمح بالانتشار تقل وكذلك فأن الممرات والمسارات من التربة إلى جذور النبات تصبح أقل مباشرة وكلا هذان العاملات ينقصان من معدل الانتشار في التربة الجافة (1< pF4) يثبط فيها انتشار الأيون فعلياً (Rowell et al 1967) وتحت مثل هذه الظروف الجافة تمتلئ المسامات الصغيرة جداً ذات قطر 100 نانو متر فقط تكون مملوءة بالماء.

إن انتشار الأيون في التربة يتأثر إلى حد كبر بالهواء المائية Water potentials التي يكون عندها الماء المتاح كافياً للنمو للنبات الطبيعي ولهذا السبب فأن حركة الضعيفة للمغذيات في فترات الجفاف تكون غالباً هي العامل المحدد للنمو النبات أكثر من التأثير المباشر للماء. ولقد قدم Nye 1966 شرحاً مفيداً جداً لحركة الأيون في التربة

(Brewster and Tinker (1972) and Barber (1974))

2. 3. 4 محلول التربة

إن حركة المغذي في التربة تعتمد إلى حد بعيد على تركيز المغذي في محلول التربة،كما وضح مسبقاً في الشكل 14.2 فإن معدل الانتشار نحو الجذور يكون سريعاً كلما كان تركيز المغذي مرتفعاً في محلول التربة.

أن محلول التربة غير متجانس، وربما يختلف في تركيزه ومكوناته حيث أن الماء الذي يملأ الفراغات والمسافات في التربة يكون غير مرتبط بصورة كاملة، كذلك تعتمد مكونات وتركيز محلول التربة على رطوبة التربة فمحلول التربة في الحالة الرطبة (عند السعة الحقلية) يكون منخفضاً وعندما تجف التربة يصبح المحلول مركزاً. كلما جفت التربة. ولقد تصل الأيونات بعض أنواع الأيونات ف هذا المحلول إلى تركيزات أعلى من نواتج ذوبانيتها مما يحدث عنه ترسيب لهذه الأيونات وبصورة خاصة فأن الكالسيوم والكبريتات والفوسفات تكون عرضه لهذا. من اجل مقارنة محاليل التربة يجب أن تكون عند مستوى متساو من الرطوبة، وتؤخذ هذه المقارنة عادة عند السعه الحقلية (Richards,1941, Maqistad et al,1945,Adams,1974) .

أن تركيز أنواع الأيونات في محلول التربة (المستخلص المشبع بالماء) يمكن أن يختلف اختلافا كبيراً تبعاً لخواص التربة ومع ذلك وبصورة عامة فأن تركيز الفوسفات يكون منخفضاً جداً ويكون تركيز كل من البوتاسيوم k^+ والماغنسيوم Mg^+ متوسطاً وتركيز الكالسيوم Ca^{2+} يكون عالياً كثيراً وقد وجد Menqel et al., 1969 أن مدى متوسط تركيز الفوسفور

هو0.015 – 0.030 ملمول والبوتاسيوم (k) 0.1 ــ 1.0ملمول والماغنسيوم 0.5Mg – 1.0ملمول والكالسيوم Ca 1.0– 10.0 ملمول في الطبقة العليا للترب الصالحة للزراعة المشبعة بالماء في دول وسط أوربا. وفي كثير من الاحيان يوجد أنيون النترات NO^-_3 في أكثر الأحيان بالتركيزات أعلى وبمستويات مساوية لمجموع الكالسيوم Ca^{2+} و Mg^{2+} (Larsen and Widdowson 1968) ويمكن أن تخالف تركزات $N\text{-}NO_3$ في محلول التربة بصورة كبيرة بالاعتماد على الظروف البيئية لأن النترات الحرة ليست واقعة تحت السعة التنظيمية للتربة (أنظر 3.2.6) وتمتص النترات أيضاً بجذور النباتات بصورة سريعة، ويمكن أن تغسل بسهولة إلى طبقات التربة السفلى، ولهذه الأسباب ولهذه الأسباب فإن تركيز النترات NO^-_3 في محلول التربة يكون عرضة للتقلب السريع.

الجدول 2.11 يبين التراكيز المختلفة للمغذيات النباتية التي وجدت في مستخلص التربة المشبعة بالماء (Fried and Shapiro 1968). وواضح بأن هذه التركيزات متباينة (مختلفة) بدرجة كبيرة وهذه الحالة صحيحة خصوصاً (Mg^{2+} و Na^+ والكبريتات والكلوريد) ولقد وجدت قيم عالية لهذه الأيونات في الترب المتأثرة بالأملاح.

جدول 11.2 يبين تركيز الأيون في محلول التربة (التربة المشبعة بالماء) بالمحلول (Fried and Shapiro 1968).

Table 2.11 Ion concentrations in the soil solution (water saturated soil) in mM (FRIED and SHAPIRO [1961])

Element	Range of all soils	An acid soil	A calcareous soil
Ca	0.5–38	3.4	14
Mg	0.7–100	1.9	7
K	0.2–10	0.7	1
Na	0.4–150	1.0	29
N	0.16–55	12.1	13
P	<0.001–1	0.007	<0.03
S	<0.1–150	0.5	24
Cl	0.2–230	1.1	20

بصفة عامة تكون التركيزات الأيونية في الترب الحامضية منخفضة عن التربة الأكثر تعادلاً. لذلك أن تكون القوة الأيونية لمحلول التربة عالية كما جفت التربة، ولهذا فإن نشاط مختلف الأنواع الأيونية، ويجب أن تؤخذ في الاعتبار أكثر من تركيزاتها (Adams, 1979).

5.3.2 الشدة والكمية

يجب أن تزود النباتات بالمغذيات الملائمة أثناء فترة نموها. ولهذا السبب فإن تركيز المغذيات النباتية في محلول التربة يجب أن يبقى في المستوى المناسب الذي يفي بحاجة نمو النبات، وعليه فإن تيسير المغذي لا يعتمد على تركيز المغذي في محلول التربة عند أي فترة زمنية معطاة فقط بل يعتمد أيضاً على قدرة التربة للمحافظة على تركيز المغذي. وإن قدرة التربة على تنظيم تركيز المغذي في محلول التربة تكون هي العامل الأكثر أهمية في تيسير المغذيات.

وعموماً فإن هذه المغذيات التي تحتاج إليها النبات بكميات كثيرة بصورة عامة تكون موجودة في محلول التربة بتركيزات منخفضة نسبياً. وهذه هي الحالة بالنسبة لكل من

الفوسفور والبوتاسيوم K خاصةً. وقد حسب اعتماداً على وحدة المساحة أن محلول التربة يحتوي تقريباً 0.5-1.0كجم فوسفور (P) / هكتار و10-30 K بوتاسيوم/هكتار بينما يكون الطلب الإجمالي على هذين المغذيين أكثر من ذلك، وكمثال تحتاج محاصيل الحبوب إلى حوالي 20كجم/ هو فوسفور و100 كجم / هـ بوتاسيوم وتنمو محاصيل الحبوب تحت ظروف التربة التي سبق شرحها فإنه ليست بالضرورة أن تصبح ناقصة في KوP، وهذا يبين أن انتقال هذه العناصر من محلول التربة بوساطة النبات. يجب أن يصاحبه إحلال إضافي لمحلول التربة من الطور الصلب للتربة.

لهذا للمرء أن يميز بين مكونين من المغذي (العنصر الغذائي) في التربة وهما عامل الكمية (Q) الذي يمثل كمية لعنصر المتاح وعامل الشدة (I) الذي يعكس قوة الاحتفاظ المغذي بالتربة ويعبر عامل الشدة بصورة مبسطة عن تركيز المغذي في محلول التربة Schofield (1955) هو أول من أقترح فكرة شدة المغذي وكمية المغذي. وهو الذي قارن بين تيسير الفوسفور مع الماء المتاح في التربة. ولا يعتمد الماء التربة على كمية الماء الكلية الموجودة في التربة بل على القوة التي تربط الماء بجزيئات (حبيبات) التربة. ونفس الشيء يسري على الفوسفور وأيضاً على بعض المغذيات النباتية الأخرى. وقد عرض Schofield 1947 لفة بأنه يكون من الممكن الحكم على حالة البوتاسيوم لأي تربة عن طريق إيجاد توازن تركيز لأيونات البوتاسيوم أفضل من إيجاد البوتاسيوم الكلي المتبادل.

إن عوامل الشدة والكمية للمغذي تكون متكافلة. وهذه العلاقة الرئيسية موضحة في الشكل 15.2 حيث أن المفاهيم الرئيسية شكلت أساس حالة الفوسفور في التربة

.(Williams.E.G, 1970)

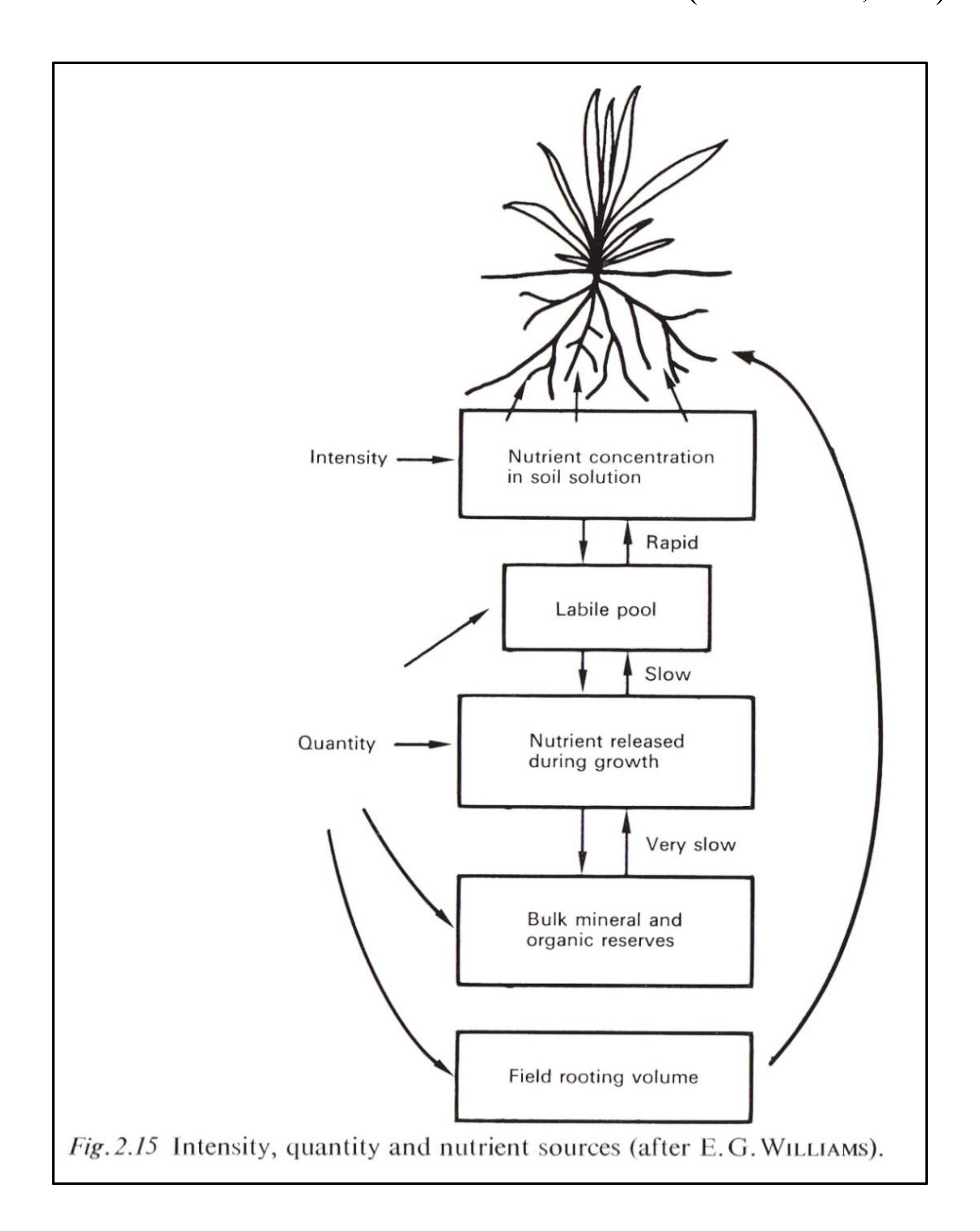


Fig. 2.15 Intensity, quantity and nutrient sources (after E. G. Williams).

تعتمد جذور النبات على شدة المغذي أو تركيز محلول التربة، التي تنظم هذا غالباً عن طريق الجزء الكبير القابل للتغير (المتحرك) من المغذيات سهلة التبادل أو المذابة. وبصفة عامة فهذه تمثل المكون الأساسي لعامل الكمية. إلا أنها ليست هي الحالة دائماً، حيث أن تحرر المغذي من صورة البطيئة التيسر يمكن في بعض الأحيان أن تكون مصدراً رئيسياً للإمداد بالمغذي. والمدى الذي يحدث فيه هذه الحالة لا يعتمد فقط على مغذي معين (محدد) بل ظروف التربة مثل الرقم الهيدروجيني (pH) ودرجة الحرارة والتهوية ومستويات الرطوبة هي أيضاً مهمة. وعلى سبيل المثال ففي الترب الاستوائية فإن معدل تحرر المغذيات بوساطة التجوية. أو المعدنة يكون سريعاً مما يجعله مصدراً رئيسياً للمغذي. ولهذا فإن عامل الكمية يعتمد كثيراً على ظروف التربة والمناخ بالإضافة إلى ذلك يعتمد أيضاً على حجم التربة الذي تستغله الجذور، وهذا يعني بالطبع أنه كل العوامل التي تؤثر في توزيع الجذور، وهذا يعني بالطبع أنه كل العوامل التي تؤثر في توزيع الجذور في قطاع التربة يساهم في عامل الكمية.

والعامل الأخر المهم في تيسير المغذي هو مقدرة التربة على المحافظة على شدة المغذي (تركيز المغذي في محلول التربة)، وهذا هو العامل المنظم والذي يبين كيف تختلف الشدة عن الكمية في شكل 16.2 خططت كمية البوتاسيوم ضد شدته لتربتين مختلفتين في مقدرتهما على امتصاص البوتاسيوم، هما تربة A وتربة B حيث الشدة في كلا التربتين A و B تكون مصحوبة بزيادة في الكمية إلا أن التربة A تظهر ارتفاعاً حاداً في انحدار (الميل) عن التربة B. حيث أن امتصاص كمية متساوية من K^+ بوساطة النبات من كلتى التربتين ينتج

عنها نفس الانخفاض في كمية K^+، وهذه الكمية المشار إليها هي Q △ الموضحة بالشكل. لكن الانخفاض الناتج في الشدة يختلف إلى حد كبير في كلتا التربتين (قارن (IA△ مع IB△ في الشكل 16.2) ويبين هذا المثال أن التربتين تختلفان في مقدرتهما على تعويض نقص البوتاسيوم في محلول التربة. لذا فإن مقدرة التربة A أحسن في المحافظة عن تركيز K^+ في محلول التربة، ولهذا تكون السعة التنظيمية للتربة A أكثر من التربة B. ويتم التعبير كمياً عن السعة التنظيمية كنسبة

$$B_K = \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

حيث أن B_k = السعة التنظيمية للبوتاسيوم K^+. إن النسبة العالية من $\Delta Q/\Delta I$ تعني تنظيمية أكثر في التربة (كلما أرتفعت هذه النسبة كلما كانت التربة ذات مقدرة تنظيمية أكثر).

بصفة عامة فإن معدل امتصاص البوتاسيوم (K) من قبل الجذور يكون أعلى من التدفق الكتلي للبوتاسيوم (K^+) نحو الجذور (أنظر 3.3.2) لذا يمكن أن ينخفض تركيز K^+ على سطح الجذور أثناء فترة الامتصاص. وهذا الهبوط في تركيز البوتاسيوم يعتمد على السعة التنظيمية للبوتاسيوم (K) في التربة. فإذا كانت هذه عالية فإن الانخفاض يكون صفراً (بسيطاً) نظراً للكفاءة التعويضية للـ K^+ في محلول التربة. ومن ناحية أخرى ينخفض تركيز البوتاسيوم على سطح الجذور بشكل كبير خلال فترة النمو في التربة ذات السعة التنظيمية

الضعيفة.

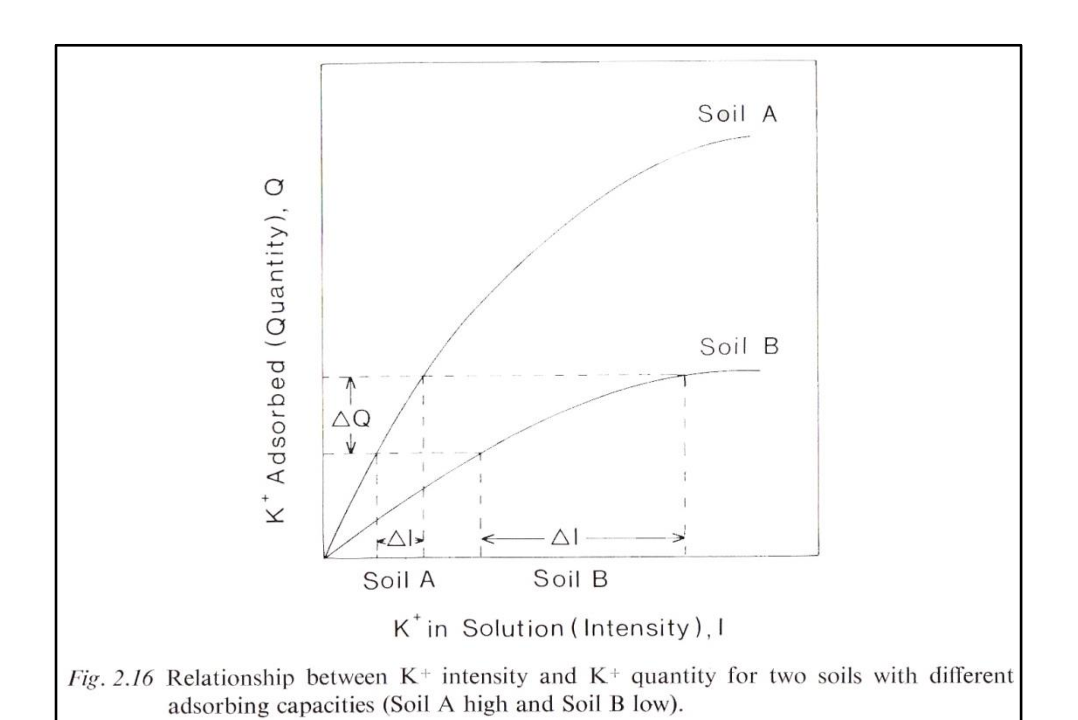


Fig. 2.16 Relationship between K^+ intensity and K^+ quantity for two soils with different adsorbing capacities (Soil A high and Soil B low).

إن تركيز المغذيات في محلول التربة اللازم للنمو المثالي للنبات يجب أن يبقى أعلى من مستوى معين، وهذا تركيز يمكن تسميته بالمستوى الحرج، فإن التركيز الأقل من هذه القيمة يؤدي إلى انخفاض في الإنتاج. وكما وضح Mengel and Busch (1982) بأن المستوى الحرج للبوتاسيوم K^+ في محلول التربة يكون ذا علاقة مع السعة التبادلية التنظيمية للبوتاسيوم K^+ (أي القوة التنظيمية) وهذه العلاقة موضحة في الشكل 17.2 وكلما كانت السعة التنظيمية للبوتاسيوم K^+ منخفضة كلما كان التركيز الحرج عالياً.

إن مفهوم الكمية/ الشدة كما أوضحنا سابقاً قد استعملت في دراسة فوسفور التربة. ويمكن أن تختلف الترب كثيراً في مقدرتها على إدمصاص الفوسفور. الادمصاص للفوسفور في ترب الـPodzols يكون منخفضاً. إن التغيرات في ادمصاص الفوسفور عند درجات الحرارة متماثلة في كلتى التربتين مبينة في الشكل 18.2 حيث يتضح أن التربة الاستوائية الحمراء تحتاج إلى كميات من الفوسفور المدمص أكثر بكصير من تربة الـ Podzols من أجل المحافظة على نفس تركيز الفوسفور في حالة محلول الاتزان. ومن هذا يتضح أن الترب ذات السعة الادمصائصية العالية يجب أن تحتوي على كميات كبيرة من الفوسفور المدمص أكثر من الترب الرملية والترب العضوية من أجل تزود كافٍ لشدة الفوسفور وغالباً فإن نسبة ادمصاص الفوسفات / تركيز الفوسفات في المحلول هي التي تمثل السعة التنظيمية للفوسفور. وفي دراسة مفصلة من قبل Olsen and Watanabe (1970) وجدا أن السعة التنظيمية للفوسفور لها أثر بالغ على إمداد جور النبات بالفوسفور، وأن الترب ذات السعة التنظيمية المنخفضة تحتاج إلى تركيز عالٍ من الفوسفور في محلول التربة. أو العكس صحيح من أجل تزويد جذور النبات بكميات كافية (مناسبة) من الفوسفور.

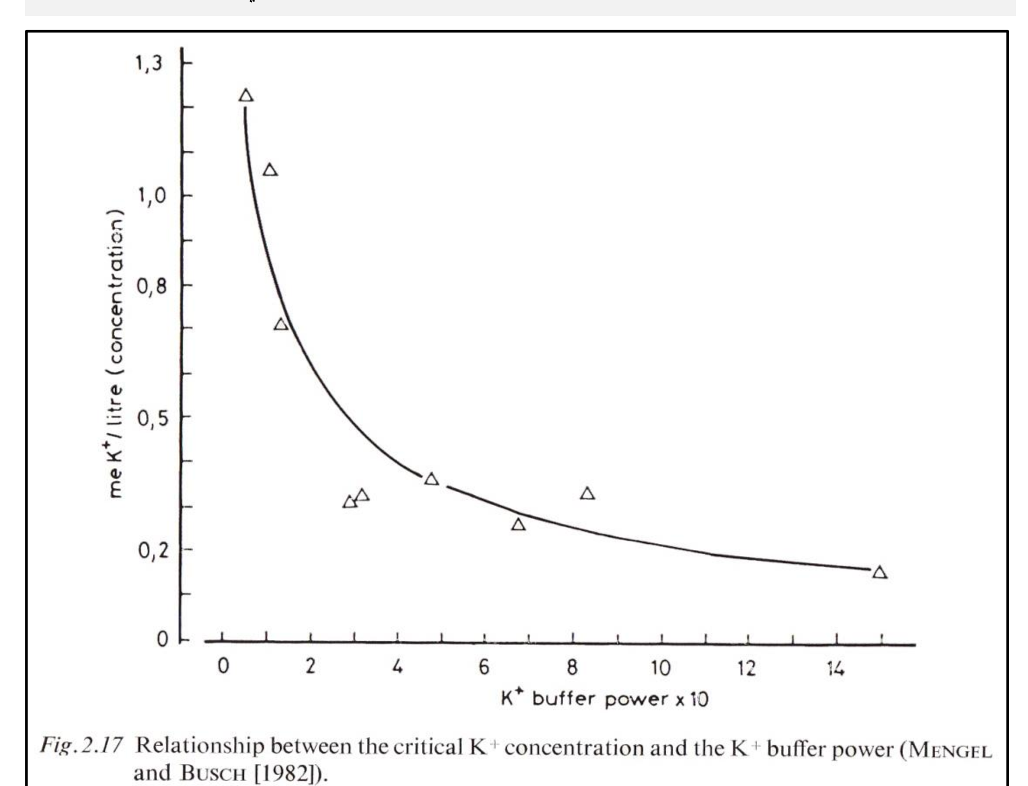


Fig. 2.17 Relationship between the critical K^+ concentration and the K^+ buffer power (Mengel and Busch [1982]).

إن مفهوم الكمية/ الشدة يمكن تطبق أيضاً على نتروجين الأمونيوم NH_4^+، إلا أنها لا تطبق على النترات No_3 المضاف لان كمية كبيرة من النتروجين التربة تكون موجودة في الصورة العضوية الذي يتحول بيولوجياً إلى No_3 التي تمسك في التربة بصورة ضعيفة. لذا فإن تركيز النترات في محلول التربة لا يمكن أن ينظم وبهذا فان التمييز بين الكمية والشدة يكون غير ذا صلة.

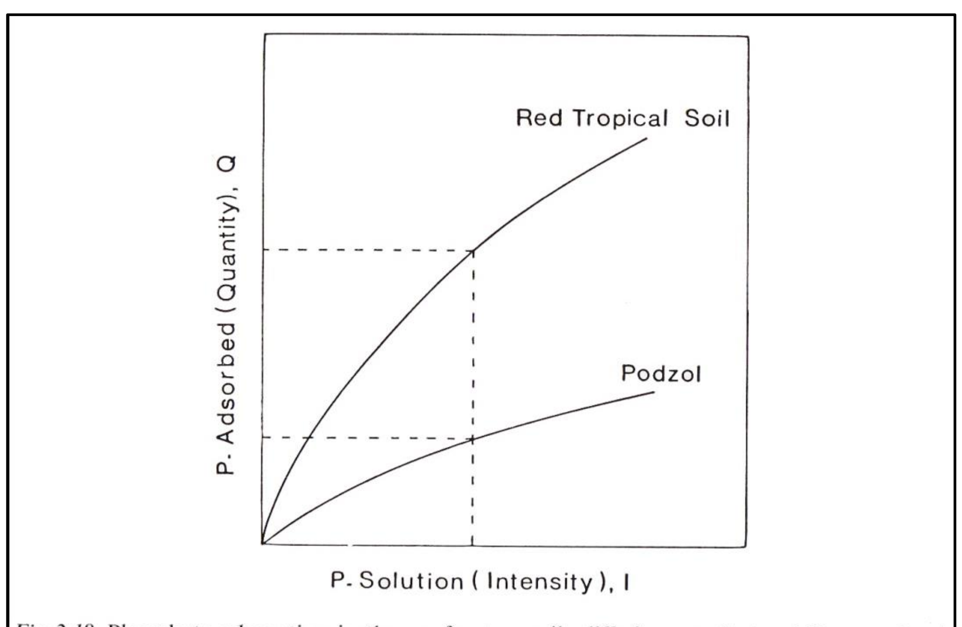


Fig. 2.18 Phosphate adsorption isotherms for two soils differing greatly in ability to adsorb phosphate.

6.3.2 نمو و وتركيب الظاهري (مورفولوجي) الجذور

الوظائف الأساسية للجذور: (ا) تثبت النبات في التربة (ب) امتصاص ونقل الماء والمغذيات المعدنية (ج) تصنيع الهرمونات النباتية Phyto-Hoimones عضوية أخرى. في هذا السياق روعي إمتصاص الماء والمغذيات بالاهتمام الخاص. تعتمد مقدرة النباتات كثراً في استغلال المغذيات وماء التربة على مرفولوجية الجذور التي تشمل عمق الجذر وتفرعه، وعدد الشعيرات الجذرية وقمته الخ. ويتحكم العامل الوراثي في مورفولوجية الجذور، إلا أنها تتأثر أيضاً بعدد من العوامل البيئية. وتختلف النباتات ذات الفلقة الواحدة أساسا عن نباتات ذات الفلقتين من حيث نمو الجذر ومورفولوجية الجذر. حيث تكون جذر وتدي في نباتات ذات

الفلقتين في مرحلة مبكرة ويمتد عميقاً في التربة وتتكون ما بعد الجذور العرضية. وفي ذوات الفلقة الواحدة، وخاصة الأعشاب تطور جذور الجانبية من جذور seminal بعد بضعة أيام بد الإنبات ويتكون مجموعاً جذرياً كثيفاً بصفة عامة ولها العديد من جذور أصلية.

وقد تختلف أيضاً عمق الجذر بشكل كبير بين الأنواع، لذا تتعمق جذور النبات المستديمة أكثر من النباتات الحولية. والتجدر المعتاد في المحاصيل الزراعية يكون العمق50 – 100سم ولكن قد يصل تعمق الجذر إلى مترين أو أكثر في بعض الأنواع الأخرى. أن نمو الجذر ومرفولوجية الجذر وعمق الجذر كلها تتأثر بالعوامل الخارجية، وخاصة غلاف التربة والتعوق الميكانيكي وحالة تغذية النبات. وقد درس هذا السؤال من قبل (Drew and Goss, 1975) وأكسد المؤلفات بأن الإمداد بالأكسجين ضروري لنمو الجذور والتحول الغذائي، إلا أن الضغط الجزئي المنخفض للأكسجين على سبيل المثال0.05 ضغط جوي عادة يكفي للتطور الطبيعي للجذور. حيث يمتص النبات بعض حاجته من الـ O_2. من الغلاف الجوي عن طريق الأوراق وبعدها ينتقل إلى الجذور (Greenwood, 1971). ولكن تحت الظروف اللاهوائية، لا يتأثر إمداد جذور النبات بالأكسجين فحسب بل ينتج عن نقصه تراكم مواد سامة والتي تثبط نمو الجذر، التي قد تؤدي إلى أضراراً بالغة لجذر. وتشمل هذه المواد الاثيلين وأحماض دهنية متطايرة (الطيارة).

وقد يحد المعوق الميكانيكي (انضغاط طبقات التربة) نمو الجذر إلى حد معتبر (Schuurman,1971) وعموماً عند نمو الجذور خلال التربة فأنها يتعقب المسافات البينية وتصدعات(الشقوق)في هذه العملية توسع الجذور بعض المسافات البينية التي تكون أصغر

منها في البداية، ولذا تحل قمة الجذر محل جزيئات (الحبيبات) التربة ، ويحدث فقط عندما يكون المعوق الميكانيكي للتربة ليس عالياً. وإلا تكون الجذور غير قادرة على اختراق التربة (Drew and Goos,1973).

ومن غير المحتمل أن النقص في الماء يحد من نمو الجذور بصفة عامة بشكل أحسن في الترب الجافة مقارنة بالترب الرطبة (Mengel and casper,1981). ويعتمد انتشار أو تكاثر الجذور كثيراً على درجة توزيع المغذي النبات في التربة. حيث شوهدت زيادة في نمو الجذور في المنطقة المحيطة بحبيبات السماد (Blanchar and Coldwell,1960) ومثال لهذا التأثير واضح في الشكل 19.2 المقتبس من ورقة (Drew and goss,1973)

وفي تجربة مزارع المحاليل الغذائية فأن المجموع الجذري بكاملة قد استقبل المحلول الغذائي الكامل، إلا المنطقة الوسطى التي استقبلت 1.0 ملمول نترات. وكان تركيز النترات في المناطق العلوية والسفلية 0.1 ملمول. ونتج عن هذه الإضافات العالية للنترات تكاثر واضح للجذور إلا أنها كانت مقتصرة على المنطقة الوسطي، حيث تم تزويدها بمستويات عالية من النترات. إلا أن تركيز الأملاح العالية في بيئة التربة قد تحد أو تمنع نمو الجذر. وخاصة الجذور التي تكون حساسة للتركيزات العالية NH_3 (Bennett and adams, 1970).

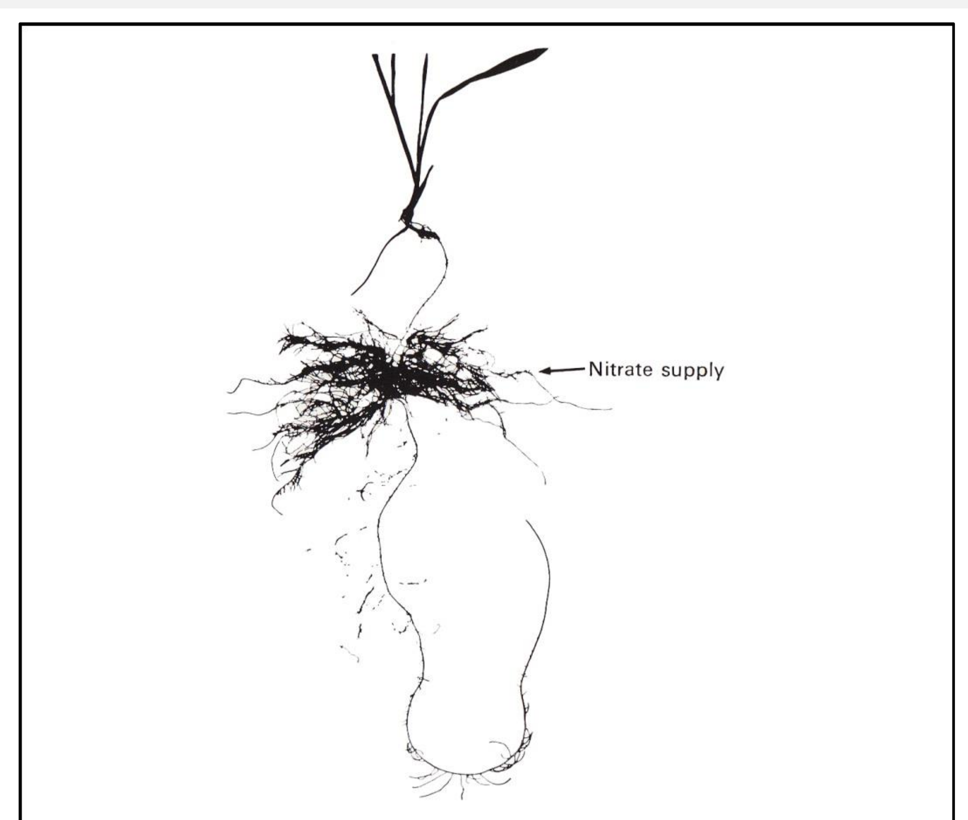


Fig. 2.19 Effect of localized supply of nitrate on the growth of lateral roots of barley (Photo: M.C. Drew).

إن الجزء الأكبر من جذور المحاليل الحولية تكون موجودة في طبقة التربة السطحية (0 – 20سم). حيث تقل كثافة الجذر بتعميق التربة كما هو موضح في الشكل 20.2 لنمو نبات الذرة في موقعين مختلفين وقد شوهد من الشكل أيضاً أن الكتلة الإجمالية للجذر كانت أكبر في التربة البوذزول البنية Brown Podzolic (سلبت اللومية) بمقارنة مع تربة Pelosol (الطينية اللومية) يتطابق هذا الاختلاف في كثافة الجذر مع حجم مسام هواء الترب التي

تكون حوالي 13 % في طبقات التربة العليا في Brown Podzolic (التربة البودزول البنية). ولهذا السبب فإن حجم مسام الهواء في هذه التربة أعلى بمقدار طفيف منها في الطبقات العليا للتربة الطينية اللومية Pelosol.وقد اقترح Mohar(1973) أن في تربة Gleys والـ Pseudogleys يكون حجم مسامات الهواء عاملاً محدداً لنمو الجذور، بينما في التربة الجيدة التهوية لا يحد حجم المسامات من تفرع الجذور.

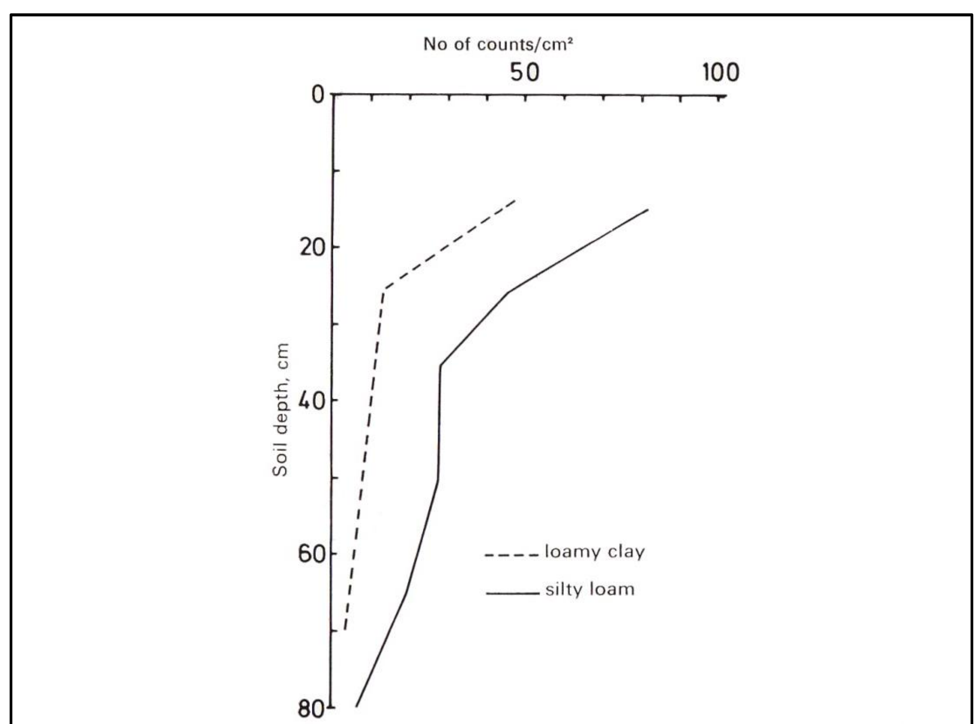


Fig.2.20 Root density of maize grown in a silty loam with a high air pore volume and in a loamy clay with a low air pore volume. Density was measured by isotopes and is referred to as No of counts (after MOHR [1978]).

وتختلف المقاييس التي يمكن بها قياس المجموع الجذري، وكتلة الجذر وطوله وسطحه

وكثافته. وبصفة عامة فأن وزن الجذر يكون مقياس ضعيف، لان الجذور السمكية والقديمة قد تساهم كثيرا إلى وزن الجذر، وهي تلعب دوراً بسيطاً في امتصاص الماء، والمغذيات وبالتالي فأن الكثافة هي المقياس الأكثر أهمية. وهي طول الجذر (سم) لكل وحدة حجم من التربة(سم^3).

$$Lv = 2m$$

حيث أن:

Lv= كثافة الجذر وm = المتوسط الحساب لعدد محاور جذور المحتجزة (المعترضة) لكل وحدة مساحة في المستويات الرئيسية الثلاثة. وعلى سبيل المثال فإذا كان عدد محاور الجذر المعترض هي 4,3,6 لكل سم^2 فإن كثافة التجذر ستكون 12. إن لكثافة التجذر تأثير بالغاً على الامتداد الذي يستنزف فيه ماء التربة والمغذيات. وقد تتداخل منطقة الاستنزاف للمجموع الجذري الكثيف نتيجة الامتصاص المغذي. وهذا يعوق التنافس على المغذيات المتاحة بين الجذور المجاورة. حيث تكون مناطق استنزاف للبوتاسيوم (K) وNH_4 عالية حوالي 10 أضعاف عن تلك مناطق استنزاف للامتصاص NH_4 , K التي تكون تأثيراً على منافس الجذور المجاورة من امتصاص البوتاسيوم ولقد وجد Newmam and Andrews (1975) أن المجموع الجذري الكثيف المزود بحجم محدد لتربة يقلل من امتصاصK^+ لنباتات قمح اليافعة إلى مستوى أو درجة أعلى من امتصاص الفوسفات.

ويوجد مقياس آخر للجذور أكثر أهمية وهو طول الجذر (LA).والذي يعرف بالطول الكلي للجذر لكل وحدة سطحية للتربة.

$$\text{طول الجذر } LA = \frac{\text{طول الجذر الكلي (سم)}}{\text{سطح التربة }(\text{سم}^2)}$$

ومن هذه القيم يمكن حساب مساحة سطح الجذر، إذا كان متوسط قطر الجذر معلوم. وقد اصطلح Barly,1970 على مساحة الجذور بوحدة سطح التربة، بدليل مساحة الجذور وهذا مرادف الدليل مساحة الورقة Leaf area index.وأعلي جانب طول الجذر وكثافة الجذر فإن عدد قمم الجذر تكون كذلك ذات أهمية حيث أن بعض المغذيات النباتية مثلCa^{+2},Mg^{+2}.Fe^{+3} يتم امتصاصها في أكثر الأطوال عن طريق الأنسجة الجذرية الحديثة التكوينية التي تكون جذورها الخلوية في الأندودرمس غير الفلينية. (Clarkson and Sanderson,1973 ,Clarkson and Hanson ,1980).

إن الشعيرات الجذرية تكتسب أهمية خاصة لأنها تحافظ على الاتصال المباشر بين التربة والجذور (أنظر الشكل 4.4) مكونة تواصل مستمر للماء بين التربة وخلايا الجذر. وطبقاً لما جاء به (Charnpion and Barley,1969) فإن الشعيرات الجذرية قادرة على اختراق الطين المتوسط المقاومة لذا فهي يمكن أن تشارك في جاهزية المغذي الذي ليس من السهل الحصول عليه من جزيئات التربة، حيث تلعب الشعيرات الجذرية دوراً رئيسياً في مغذيات التي تنتقل نحو الجذور بوساطة الانتشار. وقد تختلف مدة حياة الشعيرات الجذرية وكثافتها بشكل كبير بين الأصناف النباتية، حيث تموت الشعيرات الجذرية بصفة عامة بعد بضعة أيام، إلا أنها يمكن أن تستمر لفترة أطول كما هو الحال في الأعشاب النباتية، كما يمكن أن يظهر الاختلاف في كثافة الشعيرات الجذرية بين أصناف النوع الواحد

(Bole, 1973) وهذا موضح في صورة رقم 3.2 حيث تكون كثافة الشعيرات الجذرية لصنف المبين في الجزء C من الصورة أكبر أربعة أصناف مما هي علية لصنف المبين في الجزء A.

إذ أخذ في الاعتبار بأن احتياج النبات من المغذي لكل وحدة مجموع جذري على سبيل المثال لكل وحدة طولية لجذر، فيكون من الواضح بأن النباتات اليافعة يكون لها احتياجات اعلي من المغذي، ودرس هذا السؤال من قبل Mengel and Barber,1974 باستعمال نبات الذرة تحت الظروف الحقلية. وقد أوضحت النتائج المهمة لهذا البحث المعروضة في جدول 12.2 حيث يفهم من الجدول بأن المغذيات المحتاجة لكل وحدة طولية للجذر (متر) لكل يوم كانت عالية في مراحل النمو المبكرة والتي انخفضت بسرعة بتطور المحصول. وبينت نفس النتائج التي تحصل عليها Adepetu and Akapa,1977 بأن معدل امتصاص للفوسفور (P) والبوتاسيوم (K) (امتصاص لكل طول الجذر بالمتر) وكانت أعلي في نبات لوبياء العين السوداء (*Vigna unguiculata*) التي عمرها 5 أيام بأربعة إلى خمسة أصناف مقارنة مع نبات عمره 30 يوماً.

Table 2.12 Nutrient requirement of maize per unit root length in relation to the age of plants (Data from MENGEL and BARBER [1974])

Age of plants days	N	P	K	Ca	Mg
	μmol/m root length/day				
20	227	11.3	53	14.4	13.8
30	32	0.90	12.4	5.2	1.6
40	19	0.86	8.0	0.56	0.90
50	11	0.66	4.8	0.37	0.78
60	5.7	0.37	1.6	0.20	0.56
100	4.2	0.23	0.2	0.08	0.29

كما وجد Vincent et al., 1979 أيضاً أن معدل امتصاص K^+ للقمم جذور نبات فول الصويا كان مرتفعاً في المرحلة الخضرية لنمو النبات بمقارنة بالمرحلة التكاثرية reporduction (الإنتاجية).

ومن هذه المشاهدات يبدو واضحاً بأن النباتات اليافعة تحتاج لامتصاص كمية عالية من المغذي لكل وحدة جذر طولية، ولهذا السبب فإن النباتات الحديثة (اليافعة) خاصة تحتاج لمستويات مرتفعة من مغذيات المتاحة في التربة. إن دراسة الجذور ليست بالأمر السهل لان قياس الأنظمة الجذرية ومقاييس الجذور Parametars تكون معقدة. وقد وصف وعلق Bohm,1978 على عدة طرق التي يقاس بها المجموع الجذري تحت ظروف الحقلية. والطريقة الهامة والمعتمدة لقياس نمو الجذر والمجموع الجذري هي التي طورها Sanders and Brown,1978 وهو نمط جهاز duodenoscope ذو ألياف بصرية لمشاهدة والتقاط الصور الفوتوغرافية لتطور الجذر بداخل قطاع التربة.

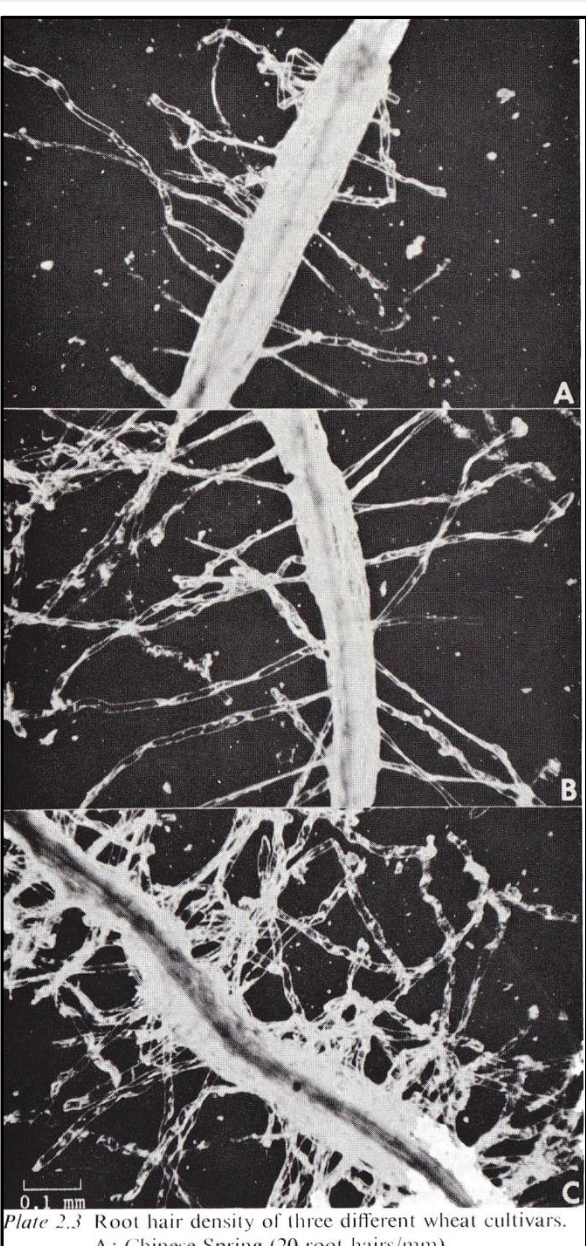


Plate 2.3 Root hair density of three different wheat cultivars.
A: Chinese Spring (20 root hairs/mm)
B: Chromosome substitution line (35 root hairs/mm)
C: S – 615 (80 root hairs/mm) (Photo: BOLF)

7.3.2 الإفراز الجذري ومنطقة الغلاف الجذري

تعتبر المنطقة المجاورة القريبة من جذور النباتات (منطقة الغلاف الجذري) مهمة في أعاده تنظيم وتيسير المغذيات النباتية. يسمي الجزء من التربة المتأثر بالجذور النبات مباشرة بمنطقة الغلاف الجذري (المنطقة القريبة من الجذور) التي تمتد إلى حوالي 1-2 ملم من سطح الجذر في حجم التربة. تؤثر الجذور في وسط التربة المتاخم لها، وذلك بتحرير المواد العضوية وغير العضوية إلى التربة. وتحرر المواد العضوية من أنسجة الجذور الميتة، وتنضح أيضاً من الجذور مباشرة (Hale and Moore,1979) وتنسلخ بعض خلايا الخارجية لجذور وكلما شقت جذور النباتات طريقها خلال التربة فأن بعض خلاياها ينسلخ، وتتحلل بوساطة انحلال الذات (autolysis) أو بفعل الكائنات الحية الدقيقة. ويمكن تقدير ثاني أكسيد الكربون المتصاعد في التربة، وإحدى الدراسات أجراها Sauerbeck and Johnen, 1996 ومن خلال دراسة بحثية لنمو الجذر وتحلله في أصيص تجارب الخردل والقمح التي زودت بثاني أكسيد الكربون المحتوي على نظير الكربون المشع (C–14) والتربة المستعملة كانت لومية رملية. وعند نضوج كتلة الجذر نبات القمح في التربة، حيث بلغت كمية من الكربون الكلي المنقولة حوالي 30 % تقريباً من قمم المجموع الخضري إلى الجذور، ومن الجزء المتبقي (70%) حوالي 20 % تحررت في صورة CO_2 عن طريق تنفس الجذور، لذا فإن حوالي 50 % من الكربون العضوي أنتقل من القمم المجموع الخضري إلى الجذور في صورة الكربون العضوي إلى التربة أثناء فترة النمو. هذه المشاهدة وكذلك المشاهدات الأخرى تشير أن جذور النبات تنقل كميات كبيرة من مواد عضوية إلى التربة، حيث أن هذه المواد العضوية جاهزة للتحلل

بفعل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في منطقة الريزوسفير (الغلاف الجذري).

وتعتبر عملية انسلاخ أغشية الجذر مصدراً رئيسياً للكربون المتحرر بوساطة الجذور، وبإضافة لهذا تنتج الجذور مادة ميوسليج Mucilage الذي يساهم كثيراً في نقل الكربون العضوي من الجذور إلى التربة. والميوسليج هو عبارة عن طبقة حبيبة وليفية تغطي سطح الجذور والشعيرات الجذرية. وتحتوي هذه المادة الزجة على سكريات عديدة مع جالكتوز galactose والفكوز Fucose وأحماض اليورونيك Uronic acide وهي أهم الوحدات النباتية البسيطة (Monomeric) لبناء المادة (Paul et al., 1975) ولقد عرف بصورة جيدة من أبحاث كل من Paul and Jones 1976 التي أجريت على لزوجة قمة جذر الذرة بأن السكريات المتعددة تنتج في خلايا قمة الجذر. ويعتقد بأن ديكتوسومات (Dictosomes) هي مواقع تصنيع السكريات العديدة، كما أن هذه الجسيمات أيضاً تدخل في نقل وإفراز السكريات العديدة.

يمكن أن تتغذى البكتريا على المادة اللزجة (Slimy) المفرزة عن طريق الجذور. كما هو واضح في صورة 4.2 من عمل (Guckert et al., 1975)، حيث تظهر البكتريا منظمرة في المادة اللزجة. يمكن أن تحلل السكريات المتعددة بفعل أنزيمات التحلل (Lytic) والمادة الميوسيليج (Mucilage) المقدرة على إدمصاص معادن الطين (Breisch et al., 1975) التي تحدث الاتصال المباشر بين الجذر والتربة، حيث تمتلئ المادة اللزجة المساقات التي بين الجذر والتربة، ولهذا الاتصال المباشر أهمية في الإمداد بالمغذيات والماء وعلى سبيل المثال إذا نقل نبات من تربة إلى أخرى فإن الاتصال المباشر المتكون (الحاصل) بفعل المادة اللزجة بين

الشعيرات وجزيئات التربة يتهدم. وعند غرسها مرة ثانية، يجب أن تتم المادة إنشاء هذا الاتصال بإنتاج المادة اللزجة وتطور الشعيرات الجذرية الجديدة، ولهذا فإن الفترة ما بعد الغرس تكون حرجة بسبب غياب الاتصال المباشر بين الجذور والتربة.

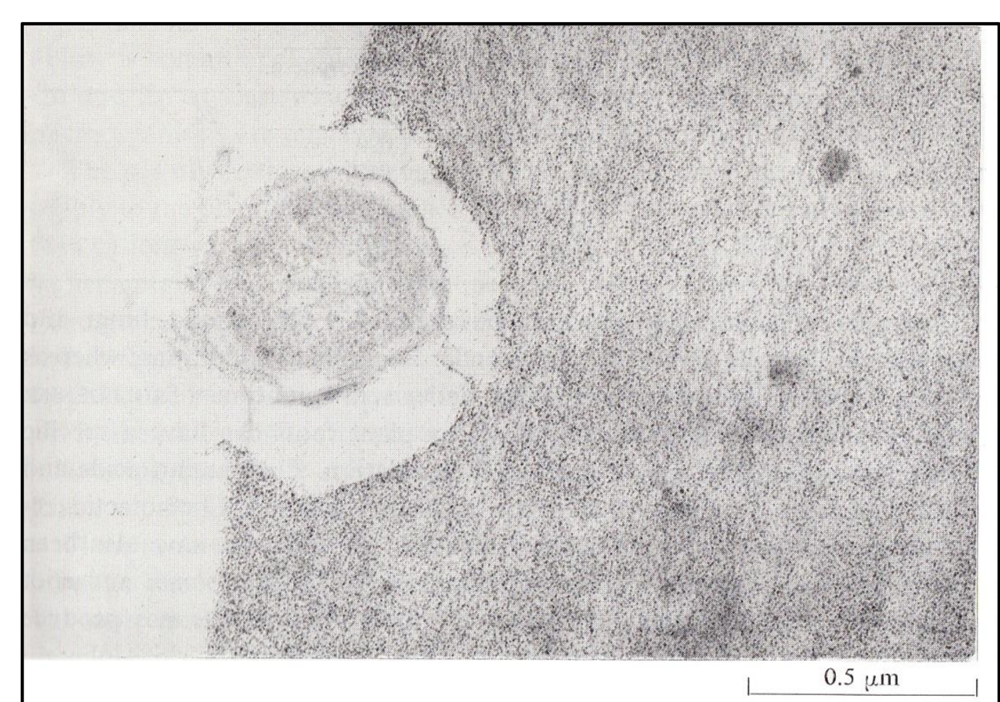


Plate 2.4 Bacterium embedded in the slime layer of a root. The slime (mucigel) has been dissolved around the bacterium. (Electronmicrograph: GUCKERT, BREISCH and REISINGER).

وبجانب إفراز السكريات العديدة، فإن الجذور تفرز عدداً من المواد العضوية الأخرى ومنها الأحماض الأمينية والسكريات والأحماض العضوية التي أغلبها دائمة الحدوث، ويعتبر تحرر هذه المركبات من قبل جذور النبات ذا أهمية للكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في

منطقة الغلاف الجذري (منطقة القريبة من الجذور) (Rhizosphere)، حيث تتغذى هذه الكائنات على المواد العضوية المفرزة. ويعتمد نشاط هذه الكائنات على المواد العضوية المفرزة. وكذلك يعتمد نشاط هذه الكائنات الدقيقة في منطقة الغلاف الجذري (الريبوسفير) إلى حدٍ كبيرٍ على الأيض تحول الغذائي بالنبات. وعلى سبيل المثال ينقل النبات النامي تحت الظروف الملائمة كميات معقولة من نواتج عملية البناء الضوئي إلى الجذور، وهذا يعني أن النشاط الأيضي للجذور يكون عالياً وأن المنطقة الغلاف الجذري (المنطقة القريبة من الجذور) إثراءت بمركبات الكربون العضوية.

وإن تخصيب (إثراء) منطقة الغلاف الجذري (الريبوسفير) بالمركبات العضوية (سكر وأحماض أمينية) قد تنتفع به الأحياء الدقيقة لهذا تكون الأحياء الدقيقة عالية في منطقة الغلاف الجذري الريبوسفير (Rhizosphere)، حيث تتغذى هذه الكائنات الدقيقة في منطقة الغلاف الجذري (الريبوسفير) إلى حدٍ كبير على الأيض تحول الغذائي بالنبات. وعلى سبيل المثال ينقل النبات النامي تحت الظروف الملائمة كميات معقولة من نواتج عملية البناء الضوئي إلى الجذور، وهذا يعني أن النشاط الأيضي للجذور يكون عالياً وأن المنطقة الغلاف الجذري (منطقة القريبة من الجذور) تزود جيداً بمركبات الكربون العضوية.

وإن تخصيب (إثراء) منطقة الغلاف الجذري (الريبوسفير) بالمركبات العضوية (سكر وأحماض أمينية) قد تنتفع به الأحياء الدقيقة ولهذا تكون كثافة الأحياء الدقيقة عالية في منطقة الغلاف الجذري الريبوسفير (Rhizosphere) أكثر من التربة خارج هذه المنطقة والعلاقة بين كثافة الأحياء الدقيقة للمنطقة الغلاف الجذري والتربة خارج هذه المنطقة

(R = Rhizosphere وحجم التربة (S =(Soil ويمكن أن يصل إلى 100 (Katanelsen, 1946). ويبين جدول 13.2 النسبة بين S/R وكثافة البكتريا في التربة الخالية من الجذور ومنطقة الغلاف الجذري Rhizosphere لعدد من المحاصيل (Rovira and Davey 1974).

Table 2.13 Bacterial colony counts in the rhizosphere of crop plants and in the root free soil (after Rovira and Davey [1974])

Crop	Colony count $10^6\ g^{-1}$ soil		R/S ratio
	Root free	Rhiszosphere	
Red clover	134	3,255	24
Oats	184	1,090	6
Flax	184	1,015	6
Wheat	120	710	6
Maize	184	614	3
Barley	140	505	3

ويمكن تصنيف الكائنات الحية الدقيقة في منطقة الغلاف الجذري (الريبوسفير) إلى بكتريا وفطريات وطفيليات اكيتلوميسات، حيث تزدهر البكتريا خصوصاً في الظروف الـ pH المتعادلة، وتكون نسبة الفطريات مرتفعة نسبياً في الظروف الحامضية (Trolldenier, 1971) للمركبات العضوية التي تفرزها جذور النباتات تأثيراً نوعياً وعاماً على تعداد الأحياء الدقيقة في التربة. حيث تحفز الأحماض الأمينية والسكريات اختيارياً البكتريا السالبة الجرام (Gram negative). ولقد درست العلاقة الكيموستاتيكية (Chemotactic) بين إفرازات الجذور بعض البكتريا التربة، وعلى سبيل المثال العلاقة ما بين السلالات الفردية لريزوبيوم

(Rizobium) وإفرازات جذور البقوليات. (Currier and Strobel, 1976) مضادات حيوية Actinomyces التي توقف أو تمنع نمو البكتريا والفطريات في منطقة الغلاف الجذري Rhizosphere.

تدخل الكائنات الحية الدقيقة مباشرة في تحول المغذيات النباتية، وبذلك فهي ذات أهمية خاصة في تغذية النبات. وتضم هذه الكائنات الحية الدقيقة كائنات حرة المعيشة (غير تكافلية) مثبتة للنتروجين N_2 وبكتريا النشدرة وبكتريا الدنترة والكائنات الحرة المثبتة لنتروجين N_2 تكون في ترافقاً مباشر مع جذور النبات. حيث يمكن تثبيت كميات معتبرة من النتروجين تحت الظروف الملائمة (Neyra and Böbe-Reiner 1977). ولقد هذا بتفاصيل أكثر في الفقرة 2.1.7 وتنتج بكتريا النشدرة لـNH_3 من الأحماض الأمينية والبروتينات المفرزة والموجودة في مخلفات وبقايا الجذور، لذا فإن الأمونيا المتحررة يمكن أن يعاد تثبيتها بمعادن الطين. تحت الظروف اللاهوائية تنتج بكتريا الدنترة مركبات نيتروجينية N طيارة (انظر 5.1.7). وتنتج أنواع من بكتريا النيتروزوميناس *Nitrosomanas* والنيتروباكتر *Nitrobacter* التي تنتج النتريت أو النترات على التوالي وتكون قليلة في منطقة غلاف الجذري المتاخمة أو المجاورة للجذور (Rovira and Davey, 1974).

والسؤال محل الجدل هو هل تكون الكائنات الحية الدقيقة في منطقة الغلاف الجذري هي منافساً قوي لجذور النبات على مغذيات المعدنية (غير العضوية) Barber and Frankenburg, 1971 يدعيان بأن الكائنات الحية الدقيقة تنافس مع جذور النبات على عنصر الفوسفور تحت الظروف التي يكون تيسير الفوسفور فيها منخفضاً، وقد رأى

Epstein بأن التأثير الناتج من تنافس الكائنات الحية الدقيقة في منطقة الغلاف الجذري تكون غير ذا أهمية حيث أن Biomass الكتلة الحية للكائنات الدقيقة في هذه المنطقة يقدر بـ 0.01. % فقط من الكتلة الحية للجذور، وأن احتياجات الكائنات للمغذيات المعدنية (غير عضوية) تكون منخفضة. وتأثير المركبات العضوية مثل الأحماض العضوية والمواد المخلبية المنتجة بوساطة الكائنات الحية في منطقة الغلاف الجذري على ذوبان المغذيات وتيسرها يبقى ولا يزال سؤالاً مفتوحاً. ويعتقد بأن المغذيات مثل الحديد Fe والنحاس Cu والزنك Zn والتي على الأقل يحدث بها خلب بالمركبات العضوية التي تنتجها الكائنات الحية الدقيقة والتي تعد الأكثر تيسراً للنباتات الراقية (Lindsay, 1974).

يعتمد الرقم الهيدروجيني بمنطقة الغلاف الجذري القريبة من الجذور كثيراً على صور النيتروجين المضافة وإلى النبات ، وتمتص النباتات المزودة بالنتروجين في صورة نترات ($N-NO_3$) وأنيونات (Onions) غير عضوية أكثر من الكاتيونات (Cations) بإجمالي إفراز أنيونات ($OH(HCO_3$)، ويحدث للنباتات المغذاة بالنيتروجين في صورة أمونيوم امتصاص للكاتيونات أعلى من امتصاصها للانيونات التدفق لأيون الهيدروجين H^+ إلى منطقة الغلاف الجذري (أنظر 9.1.3). لذا فقد يكون الرقم الهيدروجيني (pH) التربة الموجودة خارج هذه المنطقة للنباتات المجهزة بالنترات NO_3-N. ويكون منخفضاً بمقدار وحدة واحدة للنباتات المغذاة في صورة NH_4. ويحصل للبقوليات المثبتة للنتروجين نفس الانخفاض للرقم الهيدروجيني في المنطقة المجاورة (Steffens, 1981). وأهميته تغيرت الرقم الهيدروحيني في تأثيره على تيسر الفوسفور وقد وضحت بالبرهان المقنع من قبل (Riley and Barber, 1971).

تفرز جذور النباتات الأحماض العضوية أيضاً. وقد اكتشف Rivier 1960 عدداً من الأحماض العضوية المختلفة التي تضم فاليرك Valeric وبترورك Bytryric وبروبونك Propionic وأستيك acetic. وكانت النتائج الحديثة لـ Moghimi et al., 1978 موضع الاهتمام خاص حيث قاموا بعزل 2 Keto-gluconate من الغلاف الجذري لمنطقة القريبة من الجذور لنبات القمح بكميات التي عليها تذويب كميات كبيرة من الفوسفور من الهيدروكس باتيت Hydroxyapatite . ويبقى أن نعرف هل هذا الدور يقوم به هذا الحامض أو أحماض أخرى في تمكين الجذور من الحصول على الفوسفور.

8.3.2 **الميكوريزا (الجذر الفطر) Mycorrhizae**

يوجد فطر ميكرويزا في تربة مصاحباً لجذور النبات. وتنقسم هذه الفطريات إلى مجموعتين. الميكوريزا الخارجية (الجذر الفطر الخارجي) Ectotrophic وميكوريزا الداخلية (الجذر الفطر الداخلي) endotrophic حيث تغطي الجذور والجذيرات بالهيفات ذات أغطية (Mantel) وكما في الصورة 5.2 لجذور شجرة الصنوبر الاسكتلندي *Pinus Silvestris* (Trolldendier, 1971) وينتشر الغلاف الفطري بين خلايا القشرة الجذور، وبالتالي هذا يمكن الفطر من المحافظة على الاتصال المباشر مع النبات ، وتتبع هذه الفطريات صنف الفطريات بازيديه *Basidiomycetees*. والتي تعتمد على الكربوهيدرات المجهزة بوساطة الجذور لقد أتضح أيضاً أن نواتج البناء الضوئي التي أستخدم فيها الكربون المشع (C_{14}) لا تنتقل إلى الجذور فحسب يل تنتقل إلى الغلاف وهيفا الميكوريزا (Harley, 1971). وتنتقل الكربوهيدرات لمادة في صورة السكروز sucrose ستحصل عليها

من الجذر العائل تتحول بسرعة غلي سكريات فطرية مثل التراهلويز Trehalose أو مانتتول mannitol. وبهذه الطريقة فإن الكربون العضوي يحجز، لأن أعادة أو تمثيل لهذه السكريات من قبل جذور النبات يكون ضئيلاً. وقد وضح أن نقل المواد الممكن ضوئياً من المجموع الخضري (أعضاء النبات الهوائية) إلى المجموع الجذري يكون في النباتات المصابة بالميكوريزا يكون اعلي من بالنباتات غير المصابة، وتعمل الميكوريزا كمخزن (Sink) لنواتج التمثيل الضوئي.

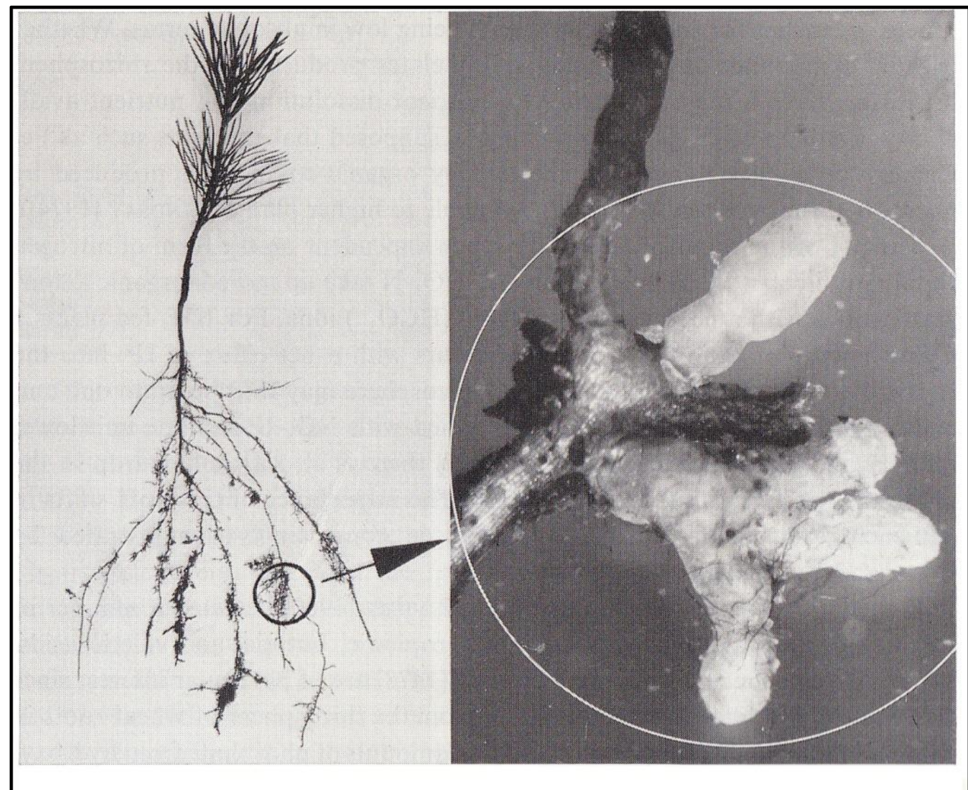


Plate 2.5 Young *Pinus silvestris* with mycorrhiza (left), hyphae mantel around root tip (right). (TROLLDENIER [1971]).

ويتناسب الغلاف الكثيف من الهيفات الذي يغطي جذور امتصاص الماء والمغذيات غير العضوية، وبصفة خاصة الفوسفور لأنها تزيد الفاعلية المساحة السطحية للجذور المتصلة مباشرة بالتربة، وتكون الهيفات الرفيعة القطر الميكوريزا (قطر 2– 4 ميكرون) قادرة على اختراق مسامات التربة، والتي لا تستطيع أن تشغلها الشعيرات الجذرية ذات أقطار أكبر خمسة مرات من قطر الهيفا (Schlechte, 1976). وطبقاً لما جاء به (Gerdemana, 1974) فالجذور المصابة تعيش فترة أكثر من الجذور غير المصابة بالفطر. والشعيرات الجذرية الجانبية الرقيقة (الرفيعة) والتي تكون حياتها قصيرة في ظروف عدم الإصابة بالفطر، وتكون غير متفرعة، وبأنها تستجيب للإصابة بالميكوريزا بنموها لفترة زمنية أطول وبتفرعها. ولهذه الطريقة فإن الميكوريزا (فطر الجذر – الفطري) يساعد الجذر في أن يستكشف ويستفيد من ماء ومغذيات التربة. وقد اتضح بأن الفوسفور الممتص بالهيفات ينتقل إلى جذر العائل. ويمكن أيضاً الفطريات الميكوريزا أن تجمع المغذيات النباتية وتزود بها النبات في الفترة التي ينخفض فيها تيسير المغذيات. ويبدو أن العائل النباتي يقوم بتزويد الميكوريزا بالمواد المصنعة بعملية البناء الضوئي والفطريات بدورها تقوم بتزويد النبات بالمغذيات المعدنية(غير عضوية).

توجد الميكوريزا الخارجية (الجذر الفطر الخارجي) Ectotrophic mycorrchizae بصورة رئيسية في جذور الأشجار والشعيرات ولها أهمية اقتصادية في نمو أشجار الغابات وأبحاث عديدة بينت بأن الميكوريزا الخارجية (الجذر الفطر الخارجي) تشجع نمو الأشجار عندما تنمو في التربة التي يكون فيها الفوسفور منخفضاً.لذا فلقد أثبت بأن بادرات أشجار الصنوبر *pinus* و *Picea* التي غرست بالميكوريزا المناسبة (Schlechte, 1976) وتحصل

Henderson And Stone,1970 على نفس المشاهدات.

الميكوريزا الداخلية (فطريات الجذر الفطري الداخلي) هي من مجموعة الفطريات الطفلية *Phycomtcetes* والبازيدية *Basidiomycetes*. وتختلف هيفات هذه الفطريات عن هيفات الميكوريزا الخارجية (فطريات الجذر، الفطر الخارجي) فهي تخترق خلايا قشرة الجذر مكونة شبكة من الهيفات الداخلية. وتمد بعض من الهيفات أيضاً في التربة (أنظر إلى صورة 1.9.ب و 1.9.ج).

الميكوريزا الشجرية vesicular arbuscular mycorrhiaca (VAH)) هو نوع الفطر السائد الذي يصيب بعض أصناف النبات، التي تشمل المحاصيل الزراعية والاسم مشتق من وجود نوعين من الخواص التركيبة للإصابة وهي وعائية (Vesicles) وArbuscules (Harley,1971).وهي تتبع الفطريات الطفيلية Phycomycetous تنتمي إلى عائلة *Endogonaceae*. ويمثل الشكل 21.2 تخطيطاً توضيحياً لهذه الميكوريزا vesicular arbuscular mycorrhiaca (VAM).ويمكن اعتبار الفطر له نظام من طورين أو مرحلتين أي خيط فطري (ميسليوم) في القشرة متصل بخيط فطري خارج هذه القشرة ممتد في منطقة الريزوسفير في التربة.

ويبين الشكل الهيفات المخترقة القشرة بإنتاجها مجموعة من التفرعات داخل خلايا القشرة وخارجها ويبين أيضاً وجود تركيب في مراحل التطور المختلفة على شكل شجري يطلق عليه Arbuscules (*arbussules* باللاتيني=شجرة) وهذا التركيب شبة الممص

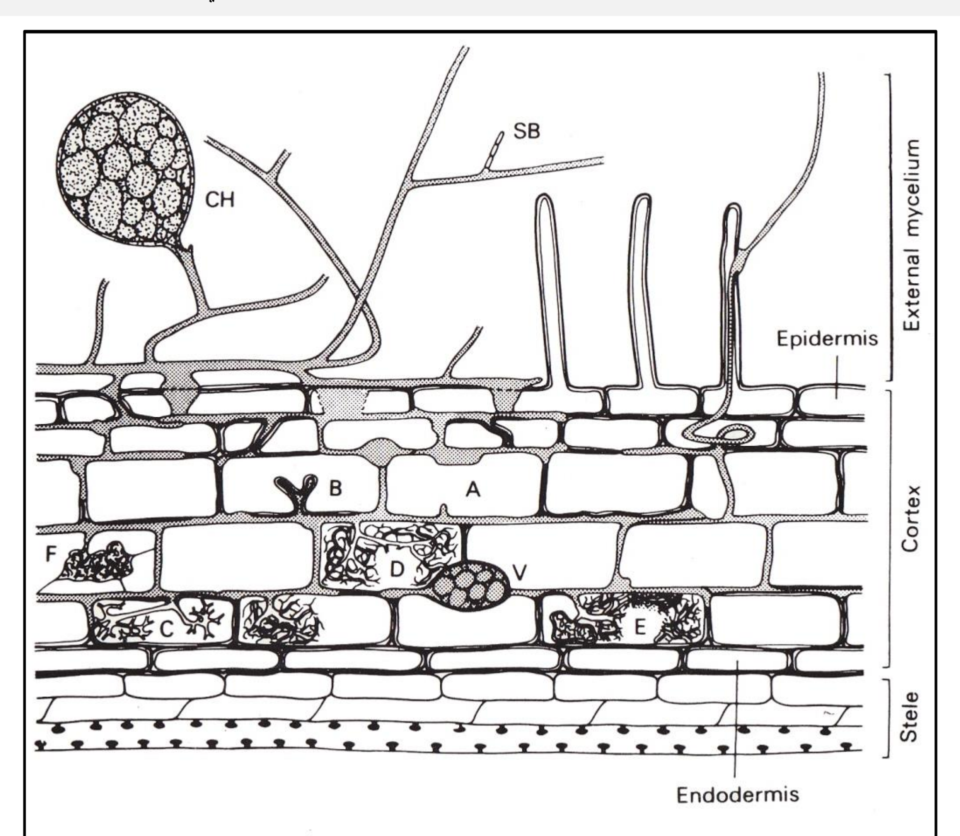


Fig. 2.21 Schematic diagram of the association of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and a plant root. The external mycelium bears large chlamydospores (CH) and occasional septate side branches (SB). Infection of the plant can occur through root hairs or between epidermal cells. Arbusculae at progressive stages in development and senescence are shown (A–F) as is also a vesicle (V). To avoid confusion cell walls of the root are not indicated when they underlay fungal hyphae (from a drawing by F.E. Sanders, p. 129, Plant Root Systems by R. Scott Russell 1977 by courtesy of The McGraw Hill Book Company).

haustoria إلا أنه نتجت بوساطة Dichotomous لهيفا متفرعة إلى فرعين، ويكون النوع الثاني للتركيب حويصلي (*Vesicula* = حويصلة) والتي يمكن أن تكون نتيجة للانتفاخ الهيفا التي تظهر بداخل الخلايا أو بين الخلايا ، ومثال لهذا التركيب سميك الجدار مبين في

الشكل، وتطور الحويصلات الخارجية أيضاً على الهيفا الخارجية.

إن العلاقة بين العائل والفطر وثيقة. ولا تظهر علامة على الجذور المغذية الحديثة عند إصابتها بالفطر، وفي الواقع أن الجذور الحية تكون ضرورية جداً للاستنبات (لتنمية) هذه الفطريات (Hayman,1980). وهذه العلاقة التكافلية بين العائل والفطر أساسية التي بين الميكوريزا الخارجية والعائل النباتي حيث يمد العائل النباتي الفطر بالمركبات الكربونية العضوية، ويساعد الفطر الجذور في الاستفادة من ماء ومغذيات التربة. وتعتبر هذه العلاقة بالذات مهمة للتغذية بالفوسفور حيث يمكن أن توجد منطقة استنزاف حول جذور النبات (انظر 2. 3. 3).حيث تمتلئ شبكة الهيفا من الجذور إلى التربة كما هو الحال مع الميكوريزا الخارجية، وتتسع مساحة الاتصال بين التربة والفطر المرتبط بجذر العائل، ولهذا السبب يزداد معدل امتصاص الفوسفور. لهذه وضحت على نبات البصل بوساطة Sanders And Tinker,1973 . النتائج الحديثة التي قدمها (Ress et al., 1979) دلت على انه من الممكن أن يكون معدل امتصاص الفوسفور بوساطة الهيفا أكبر من معدل امتصاصه بالجذور، ويبدو أن انتقال الفوسفور في الهيفا يكون سريعاً. وطبقاً لأبحاث (Ox et al.,1980) على ميكوريزا، وجد أن الفوسفور ينتقل على هيئة حبيبات صغيرة للمجاميع الفوسفور (البوليفوسفات Polyphosphate) عن طريق تتدفق السيتوبلام. ويمتص الفطر الجزء النشط من فوسفور التربة انظر (1.1.9) وبالتالي الجزء سهل التيسير من الفوسفور. ويتضح بأن قابلية فطر الميكوريزا على استعمال الفوسفور قليلة في صورته غير الذائبة مثل صخور الفوسفات. النباتات التي يكون مجموعها الجذري ذو مساحات سطحية

قليلة والجذور بدنية (ممثله) Fleshy والقليلة الشعيرات الجذرية تستفيد في الغالب من ميكوريزا الشجيرية (VAH) في امتصاص الفوسفور، وتشمل هذه النباتات البصل والموالح وأشجار العنب. تكوين العقد الجذرية (Nodulatim) وتثبت النتروجين الجوي في النباتات البقولية يمكن يزوادان كثيراً في النباتات المصابة بالميكوريزا. ويعتقد بأن الميكوريزا تحفز معدل امتصاص عنصري Cu وZn.

إن معظم أصناف المحاصيل الزراعية ماعدا العائلة الصليبية (Brassica) والبنجر لها ميكوريزا شجرية (VAM) .وتكون الإصابة بهذه الميكوريزا منتشرة بشكل واسع في البقوليات والنجيليات.حيث وجدت في بقوليات المراعي والعلف وفي الذرة والقمح والشعير وبعض الخضراوات ومحاصيل المزرعة مثل البن والشاي والكاكاو ونخيل الزيت والبابا و أشجار المطاط كلها تعرف بإصابتها الكمي بالميكوريزا Hayman,1980 . ويعتقد بأن Cassava معروفه بأنها إجبارية الإصابة بالميكوريزا الشجرية ولهذا السبب تكون قادرة على النمو بشكل أفضل حتى في حالات نقص الفوسفور التربة.

توجد احتمالات بأن تلقيح المحاصيل بسلالات فطر الميكوريزا المناسبة يمكن أن تؤدي إلى زيادة إنتاجيتها وممكن أن تعطي أحسن النتائج في التربة التي تعاني من نقص في الفوسفور أو الترب التي تثبت الفوسفور بكميات كبيرة مثل ترب Ferrallitic Soils للمناطق الاستوائية.

4.2 تقدير تيسير المغذيات (العناصر الغذائية)

1.4.2 عام

كان معروفاً منذ أن بدأ الإنسان في زراعة المحاصيل بأن الترب تختلف في خصوبتها بصورة كبيرة. وإن معرفة أو فهم العوامل التي لها علاقة بظاهرة خصوبة التربة أو مقدرة التربة على إنتاج أفضل نمو للنباتات كانت من الأشياء ذات الاهتمام لفترة طويلة جدا. وحديثاً أصبح أكثر وضوحاً بأن خصوبة التربة تعتمد على الخواص الفيزيائية (الطبيعية) والكيميائية للتربة. وأكتشف في القرن التاسع عشر أن النباتات تستلم معظم المواد الكيميائية من التربة، حيث كشف أن إحدى مكونات خصوبة التربة هو محتواها من المغذيات النباتية الموجودة في التربة. لكن وكما أتضح مسبقاً فإن المحتوى الكلي للمغذيات النباتية في التربة ليس له أهمية أولية في هذا الصدد، وبل أن محتواها من المغذيات النباتية الذائبة والمغذيات سهلة التيسر هي الأكثر أهمية. ويمكن تقدير جزء المغذي المتاح بوساطة طرائق مختلفة. والتي تختلف في أسسها وقواعدها حيث هناك ثلاثة أساليب مختلفة للتقدير مذكورة في طرق تحليل التربة وتحليل النباتي وأجراء تجارب على النبات (تجارب في أصيص أو في الحقل).

2.4.2 أخذ العينات وتفسير نتائج تحليل التربة

تعتمد كل طرائق تحليل التربة بشكل كبير على دقة أخذ العينات، حيث أن محتوى المغذي التربة لا يختلف فقط في نفس قطاع التربة بل أيضاً في نفس الأفق. ولذا يجب جمع عينات إضافية للتربة المعطاة للحصول على عينات ممثلة، وخاصة عند تقدير النيتروجين (N) المتاح، حيث أن محتوى N في التربة يختلف بشكل واسع من موقع إلى آخر، وعموماً فإن

أخذ 25 عينة إضافية لتقدير الفوسفات والبوتاسيوم K لكل هكتار تعتبر كافية للحصول على عينات ممثلة (Hanotiaux, 1966).

ويجب الأخذ في الاعتبار عند تفسير نتائج تحليل التربة كثافة التربة، وإن محتوى التربة من المادة العضوية هو أهم عامل يؤثر في تفسير النتائج، وبصفة عامة تكون الكثافة منخفضة كما كان محتوى التربة من المادة العضوية عالياً. وعلى سبيل فإن 100 جرام / التربة عضوية يكون حجمها أعلى بكثير من التربة غير العضوية. لذا فإن كمية المغذي المتاح في التربة والمقدرة بطريقة الاستخلاص على أساس الوزن تشير أيضاً إلى حجم تربة مرتفع العالي. ولذا وحده الجذر عند مقارنة المغذيات النباتية المتاحة في الترب العضوية والترب غير العضوية (معدنية). من أجل التغلب على هذه الصعوبات فإن حسابات المغذيات المتاحة، يعبر عنها غالباً على أساس وحدة المساحة. فمثلاً لكيلوجرام فوسفور متاح لكل هكتار أو كيلوجرام بوتاسيوم لكل هكتار. وعند الضرورة تجرى الحسابات للطبقة العليا (20 – 30سم) للتربة موضع الاعتبار.

توجد صعوبات أخرى مرتبطة بتفسير بيانات تحليل الترب، لا يمكن القول بدقة من بيانات التحليل وحدها بأن التربة ذات خصوبة لأي مغذٍ من المغذيات. والشيء نفسه ينطبق على تقدير المستوى الحرج الذي بعده لا يزيد الإنتاجية بإضافة التسميد الإضافي.

وبصفة عامة فإن القيم الأقل من 50 جزء في المليون من الفوسفور (P) الذائب أو 80 جزء في المليون من البوتاسيوم (K) المتبادل هـ مؤشر على مقدرة التُرب على الاستجابة للإنتاج ذي أهمية بعد التزويد بمغذٍ مناسب. ولكن الاستجابة للتسميد نحصل عليها في

الترب تحتوي على كميات متاحة من الفوسفور (P) والبوتاسيوم (K) أكثر من القيم المبينة أعلاه. وتعتمد كثيراً على عوامل أخرى، وخاصةً على نوع وقوام الترب المستخدمة. لذلك فبالإضافة إلى بيانات تحاليل التربة، فمن الواجب أن تكون توصيات التسميد مبنية على أساس الوصفية التصنيفية ونوع التربة التي تزود بالسماد.

ومن الضروري التمييز بين شدة المغذي (Nutrient Intensity) وكمية المغذي (Nutrient Quantity) كما سبق وأن شرحنا (أنظر 2.3.5). ولسوء الحظ أن أغلب طرائق تحليل التربة تعطي نتائج تعتمد على الاثنين معاً. وفي الحالات القصوى يمكن أن يكون لتربتين نفس كمية الفوسفور المتاحة والمقدر بطريقة واحدة، إلا أنهما قد تختلفان في مقاييسهما لشدة ولكمية الفوسفور ويكون اختلافاً جلياً. ولهذا السبب تعطى إضافة سماد الفوسفور لهاتين التربتين استجابة مختلفة تماماً. وهذا ينطبق أيضاً على البوتاسيوم K. ولذا يجب أن يأخذ في الاعتبار كل من مقاييس الشدة والكمية.

والمفهوم الآخر الذي يجب أن نضعه في الاعتبار يتعلق بإتاحة المغذي هو اختلاف المحاصيل في احتياجاتها الغذائية. إن المحاصيل عالية الإنتاج وأنظمة الإنتاج المكثف تجعل الطلب كثيراً على العناصر الغذائية المتاحة في التربة خاصة الفوسفور والبوتاسيوم. وهذه هي الحالة عن إضافة مستويات عالية من النيتروجين. وقد تم تناول التباين بين أنواع المحاصيل في امتصاص المغذي في الجزء 2.16.

يجب إجراء تجارب حقلية للمقارنة لأجل التفسير والاستعمال الموثوق لبيانات لتحليل التربة لمحصول معين تحت بيئة معينة. ومرة أخرى قد تظهر الاختلافات أو التباين،

لأن نتائج تحاليل التربة واستجابة الإنتاجية لا تكون مرتبطة دائماً. حيث تيسر المغذي يعتمد بشكل كبير على العلاقة بين النبات والتربة، وعلى سبيل المثال يتوقف تيسر المغذي على رطوبة التربة وعلى نمو الجذر، وهذا يعني أن قد يحدث اختلاف موسمي كبير. ولهذا السبب فإن بيانات التحاليل التربة لا يمكن أن تعطي معلومات مطلقة ويمكن أن يعوّل عليها بمفردها وهذا لا يقلل من أهمية تحليل التربة بأي حال من الأحوال. حيث تعطي بيانات التحاليل مدلولاً نسبياً على حالة خصوبة التربة، وخاصةً عند أخذ عينات بانتظام لعدد من السنوات. ومن ثم يمكن مشاهدة اتجاه خصوبة أي تربة عن طريق تسجيل الزيادة أو النقصان في محتوى التربة من المغذيات المتاحة. حيث أن التسميد يغني طبقة العلوية للتربة بالمغذيات، وهذا صحيح خاصةً بالنسبة لعنصري البوتاسيوم K^+ والفوسفور (Hanitiaux and Manil . 1963)

3.4.2 تقدير الكاتيونات

لا تزال معظم طرائق تحليل التربة لتقدير المغذيات المتاحة تتضمن معاملة التربة بمستخلص ملائم لنزع الجزء المغذي سهل المنال وهذه الحالة بالنسبة للمغذيات الكاتيونية. بالنسبة لهذه المغذيات فإن الأيونات سهلة المنال في التربة تأتي من كاتيونات إما أن تكون ذائبة في محلول التربة أو تكون مدمصة على معقدات التبادل العضوية والمعدنية (غير العضوية). حيث أن الجزء الأكبر منها يكون في صورة متبادلة. ولهذا السبب فإن تقدير الكاتيونات المتاحة يبنى على أساس تحاليل الكاتيونات المتبادلة. حيث أن المستخلصات المستعملة تحتوي على زيادة من نوع كاتيوني معين لها يكون قادراً على استبدال الكاتيون

المغذي المدمص. وتطبق هذه القاعدة في تقدير K^+ و Mg^{2+} المتبادل في التربة. وباستخدام هذا النوع من الاستخلاص فإن جزءاً كبيراً من الكاتيونات الكلية (المتبادلة) وتقريباً كل الكاتيونات الذائبة في محلول التربة. يمكن نزعها من التربة وبالتالي يمكن تقديرها في المستخلص (Extract). ويعطي هذا التقدير دلالة لعامل الكمية للمغذي المعني. وتستعمل العديد من المستخلصات المختلفة بطرائق عديدة إلا أن أساسها واحد. وعادةً يتم توظيف خلات الأمونيوم NH_4 acetate أو كلوريد الأمونيوم NH_4Cl في تقدير أيونات K^+ و Mg^{2+} المتبادلة. ولكن لـK^+ المتبادل غالباً لا يكون معياراً مقنعاً لقياس K^+ المتاح ، حيث لا يمكنه أن يفرق بين الـ K^+ في المحلول ولـ K. المدمص. ويمكن تقييم K^+ المتاح بدقة أكثر عن طريق تركيز لـK^+ للمحلول التربة عند الاتزان وعند رطوبة التربة المعطاة مع السعة التنظيمية للبوتاسيوم معاً. ففي هولندا يقدر لـK^+ المتاح باستخلاص عينات التربة بوساطة HCL عياره 0.1 مول. وفي هذه الحالة يكون لــ H^+. هو كاتيون المتبادل. كما أن تيسر K^+ يعتمد أيضاً على لــ pH ومحتوى التربة من الطين والدبال فإن كمية لـ K^+. المستخلصة بوساطة حمض HCl ذو عيارية 0.1 مول نضبط باستخدام معامل تصحيح والذي يأخذ في الاعتبار محتوى التربة من الطين والـ pH. والذبال. وتسمى القيمة الناتجة بقيمة K^+. وقد بنيت الطريقة السائدة الاستعمال في ألمانيا لتقدير K^+ المتاح على أساس استخلاص التربة بمحلول لاكتات الكالسيوم Ca-lactate المحمص. ويكون تركيز المستخلص 0.025 مول أو قيمة pH تساوي 3.6 باستخدام حمض الهيدروكلوريك HCl (Egner,1955) و (Riehm 1959). ويقدر عادةً الـMg^{2+} المتاح باستخلاص التربة بمحلول $CaCl_2$ تركيزه 0.0125 مول

(Schachischabel, 1954). ويمكن الحصول على تفضيل للطرائق المختلفة والمستخلصات المستعملة في تقدير الكاتيونات في المراجع الكيميائية القياسية المعتمدة لتحاليل التربة (Jackson 1958, Hesse 1971).

4.4.2 تقدير الفوسفات

إن تقدير الفوسفور المتاح في التربة معقد، لأن جاهزية الفوسفات الموجودة في التربة تختلف وعلى عكس المغذيات الكاتيونية الأخرى فإن الفوسفور المتاح ليس مقياساً للفوسفور المتبادل بل هو أيضاً قياس لذوبان الفوسفات في التربة. وأكثر فوسفات التربة أهمية هو فوسفات الكالسيوم والفوسفات المدمص لغرويات التربة والفوسفات العضوي. ولا يعتمد ذوبان فوسفات التربة المعدني (غير العضوي) على طبيعتها الكيميائية فقط. ولكن عمر ومساحة سطوح معادن هي أيضاً ذات أهمية. بصورة عامة أن فوسفات المترسب حديثاً يكون أسرع ذوباناً. ومع مرور الزمن يزداد الحجم البلوري الذي يتبعه نقصان في مساحة السطح. وبمرور الزمن أيضاً بعض الفوسفات تنتشر بين معادن الأخرى مثل الحديد Fe وأوكسيدات الألمنيوم ويصبح أقل تيسيراً. ووجود أنواع أخرى من الأيونات في محلول التربة يمكن أن يؤثر أيضاً على تيسير الفوسفات (Schuffelen, 1971). وبصورة عامة يزيد H^+ من ذوبان فوسفات الكالسيوم، بينما يقلل Ca^{2+} من ذوبانها. والعكس يكون صحيحاً بالنسبة لفوسفات الحديد والألمنيوم (أنظر 1.1.9).

ولهذا السبب فإن اختيار المستخلص يعتمد كثيراً على نوع الفوسفات الموجود في تربة معينة. في الترب الكلسية (الجيرية) تكون طريقة (Olsen et al., 1954) ملائمة

لاستخلاص الفوسفور حيث يكون المحلول قاعدياً ($0.5M\ NaHCO_3$) ودرجة حموضة pH (8.5) والذي له تأثير قليل نسبياً على معدن الاباتيت (apatite) مقارنةً بالاستخلاص بالحامض.

واستعملت في الترب المتعادلة والحامضية مستخلصات ذات مجالات مختلفة المدى. طريقة براي على سبيل المثال (Bray and Kurta 1945) التي استعمل فيها محلول NH_4F تركيزه 0.03 مول + HCl تركيزه 0.025 مول برقم هيدروجيني 3.5 تعطي نتائج موثوق بها لمثل هذه الترب (Werner, 1969) وفي الولايات المتحدة الأمريكية تستعمل طريقة Troug ($(NH_4)_2SO_4$ + $0.001\ NH_2SO_4$) وبرقم هيدروجيني 3.0 وطريقة Morgan (خلات الصوديوم (Na-aectate) + حامض الخليك (acetic acid) وبرقم هيدروجيني 3.5، وكلا الطريقتين شائعة الاستعمال في تقدير الفوسفور المتاح في التربة Lathwell and Peech (1964) و Truog (1930). واستخدام تركيز 1% حامض الخليك كما اقترح Dyer (1894) ما زال يستعمل استخدام المستخلصات مختلفة وميزاتها النسبية في تقدير الفوسفور المتاح ثم تناولها بالبحث بشكل عام من قبل (Hesse, 1971).

وقد برهن حديثاً أن طريقة استخلاص فوسفور التربة بالماء هي أداة مفيدة في تقدير الفوسفور المتاح في التربة. وطبقاً لأبحاث Van Der Paauw 1962,1969 يبدو أنها طريقة صعبة التأثير بنوعية التربة (المحتوى من الذبال والطين والجير وقيمة pH). وبخلاف بقية الطرائق الأخرى التي وضعت سابقاً، فإن استخلاص الفوسفور بالماء يعطي مؤشراً جيداً عن تركيز الفوسفور الموجود في محلول التربة. أما معادن الفوسفات فهي نادرة الذوبان في الماء.

وهذا مشابه لطريقة استخلاص الفوسفور باستخدام $CaCl_2$ تركيزة 0.01 مول التي تستعمل في بعض الأحيان. وكلتا الطريقتان مفيدتان حيث أن فصل محلول التربة نفسه غير السهل. حيث يمثل تركيز الفوسفور في محلول التربة عامل الشدة، وبهذا فإن تقدير الفوسفور المستخلص باستخدام الماء أو كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ لمخفف يعتبران مقياساً للشدة الفوسفور. وقد وجد أن طريقة الاستخلاص باستخدام الماء تعطي قيماً للفوسفور ترتبط مع ناتج المادة الجافة بشكل أفضل من بقية الطرائق الأخرى (Van Der Paauw, 1969). وأشار Obigbesan, 1970 بأن شدة الفوسفور هو مقياس للفوسفور المتاح أكثر أقناعاً من غيرها من التقديرات الأخرى، ودعمت هذه النتائج التي وجدهما كل من (Williams and Kingher 1963) اللذان حللوا أنواع مختارة من التربة مختلفة باستعمال عدة مستخلصات. المستخلصات المعتدلة ذات الرقم الهيدروجيني المتوسط لفترات استخلاص قصيرة، ولهذا فهي تكون مقياس للدلالة على الشدة أكثر منها للكمية، وتعطي ارتباطات عالية من الحاصل الإنتاجي. مقاييس الشدة تكون مفيدة في الترب الزراعية المغذاة بالفوسفور، حيث تكون سعة الفوسفور العالية تحافظ على تركيز الفوسفور في محلول التربة. وعامل الشدة يكون أيضاً مهماً لعلاقته مع مراحل النمو المبكرة والاستجابة العالية للنمو السريع لبعض المحاصيل الزراعية مثل البطاطس.

وكما أشير سابقاً فإن القيم المطلقة المحددة للفوسفور المتاح تعتمد على نوعية المستخلص المستعمل. وجدول 14.2 يبين متوسط القيم للفوسفور المتاح من بيانات (Williams and Kingher 1963) حيث تم معاملة 40 نوع من التربة بعدة مستخلصات.

إن محتوى الفوسفور في التربة المجففة هوائياً التي وجدت بهذه الطرائق المختلفة تتراوح تقريباً ما بين 5–250 جزء من مليون من الفوسفور (P) أو أكثر. ويكون المحتوية الاعتيادي للترب المزروعة في مدى ما بين 50–100 جزء من مليون من الفوسفور p.

Table 2.14 Readily-soluble P values using various extraction methods. Results obtained from 40 soils (mg P_2O_5/100 g air dried soil) (WILLIAMS and KNIGHT [1963])

Extractant	Phosphate content
Neutral NH_4F	33.6
Acid NH_4F	16.8
Acetic acid	5.7
Sulphuric acid (TRUOG)	8.2
Lactate	2.7
Bicarbonate	5.4

الطريقة الأخرى لتقييم حالة الفوسفور المتاح في التربة، هي استخلاص أيونات الفوسفور من التربة باستعمال صمغ التبادل الأنيوني (راتنجان التبادل الأنيوني الصناعي (Synthetic exchanger resins) حيث ارتبطت نتائجها بشكل جيد تماماً مع امتصاص النبات للفوسفور (Sibbesen, 1978 and Bache and Iaeland 1980). والسبب لماذا تعطي هذه الطريقة ارتباطاً مع امتصاص الفوسفور أفضل من غيرها من الطرائق الأخرى التي يستعمل مستخلص واحد، هو أن صمغ (راتنج) التبادلي يكون أكثر تحفزاً للجذور الماصة. ولتبسيط إجراءات إدمصاص الفوسفور طور حديثاً الباحث Sibben, 1977 بوساطة الحفاظ على الصمغ (راتنج) في أوعية شبكية من النايلون الذي يبقى مغموراً في معلقات التربة، وهذا بدون شط طور لتقدير الفوسفور المتاح في التربة.

5.4.2 طرائق العنصر المتتبع

منذ 20 سنة مضت استعمل أسلوب جديد لتقدير المغذيات المتاحة في التربة بمساعدة النظائر المشعة للعناصر وتطبق هذه الطريقة بصورة خاصة على العناصر المغذية ذات نظائر مشعة مناسبة مثل P-32 و Ca-45 التي يكون لها نصف عمر (Half-life) انبعاث أشعاعي نشط بحيث يمكنّ من تتبع مصيرها في التربة. وبينت أسس هذه الطرق المستعملة على فكرة أن المضافة إلى التربة تتوازن مع جزء العنصر المستقر الذي يكون متاحاً إلى النبات. ويسمى هذا الجزء بمصطلح Labile pool (أي الجزء المتحرك) ويضم المغذيات المعدنية التي توجد في محلول التربة أو الجاهزة والتي يمكن أن تنتقل إليه. وعندما تضاف نظير الفوسفور المشع إلى معلق التربة على سبيل المثال فإنه سوف يخلط مع فوسفور التربة ويتبادل مع غرويات التربة ومع الفوسفات الصلبة مثل فوسفات الكالسيوم Ca والألمنيوم (Al) والحديد Fe. حيث يتحقق التوازن بين النظائر في النهاية. إن دراسة تيسر المغذيات وخاصةً الفوسفور قد ساعدت فيها كثيراً مشاهدات التخفيف والتبادل النظائر المشعة تحت ظروف التوازن هذه.

إذا أضيف محلول المادة مشعة إلى محلول لنفس المادة بشكل غير مرقم (unlabelled) (أي غير مشع) ولتحقيق أو إحراز التوازن فإن نسبة الذرات المرقمة (المعلمة) إلى الذرات الغير مرقمة (الغير معلمة) تكون ثابتة خلال النظام، ويمكن أن يعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$\frac{\text{Total unlabelled substance}}{\text{Total labelled substance}} = \frac{\text{Unlabelled substance in any sample}}{\text{Labelled substance in any sample}}$$

وتسمى العملية بالتخفيف النظائري الذي يقدم ابسط وسيلة لقياس الكمية الكلية للمادة غير مرقمة (معلمة). ومن الضرورة فقط إضافة كمية معروفة من الصورة المعلمَّة. وأخذ عينة للتحليل بعد الاتزان .

وكما ذكر سابقاً تؤخذ التربة في الاعتبار، فان وجود الطور السائل والطور الصلب المشحون في التربة يعني بأن هذه العملية تتضمن كل من عملية التخفيف والتبادل. فالأيونات على السطح تكون في تبادل ثابت مع الأيونات المعروفة كيميائياً في محلول التربة، فإن إضافة النظير Isotope إلى نفس هذا المحلول سوف ينتج عنه التفاعل الآتي:

محلول E+ متبادل E* ⇆ محلول E*+ متبادل E

حيث أن:

E هي أيون وE* هي نظائر هذا الأيون

وفي حالة التوازن.

$$\frac{E^*\ exch.}{E^*\ sol.} = \frac{E\ exch.}{E\ sol.}$$

E exch. = exchangeable ion

E sol. = ion in solution

متبادل E= الأيون المتبادل

محلول E= الأيون في المحلول

وتطور McAuliffe et al., 1947 المبدأ لتقدير الفوسفور المتاح في التربة وإذا عوض الفوسفور P في المعادلة المذكورة أعلاه فالمعادلة تكون

$$\frac{\text{P-32 exch.}}{\text{P-32 sol.}} = \frac{\text{P-31 exch.}}{\text{P-31 sol.}}$$

وباستعمال هذه المعادلة يمكن حساب P-31 المتبادل بينما القيم الأخرى يمكن تقديرها من التجربة P-31 (في محلول) و P-32 (في محلول) يكونان تركيز الفوسفور الثابتة (المستقر) والفوسفور المشع على التوالي في محلول التربة بعد عملية الاتزان بين الفوسفات المشع (النظائر) والفوسفات المستقر. و P-32 (المتبادل) يكون مساوياً للاختلاف بين كمية P-32 المضاف إلى معلق التربة والكمية في محلول التربة في حالة التوازن.

وقد استعمال McAuliffe et al., 1947 هذه الطريقة لتقدير بما وصفه الفوسفور السطحي (Surface phosphate). وقد تمسكوا بالنظرة التي تقول بان المرحلة الأكثر سرعة للتخفيف بالنظير في أي معلق التربة تشمل فقط الفوسفات الذي على سطح الجزيئات الصلبة في التربة. وتوسع Russell et al., 1954 بالدراسة، حيث بقيامهم بطريقة مختبرية سريعة لتقدير الفوسفور المتاح في التربة. ولم يضع هؤلاء الباحثون فرضية عن أصل الفوسفور القابل للتغير (المتحرك) وقد تأكد من أن اتزان النظائر لا يتحقق أبداً تحت الظروف المختبرية، ولكن لاحظوا أن معدّل قد أنخفض بشكل واضح بعد وقت قصير، ولهذا السبب اختاروا 48 ساعة اعتباطاً (Arbitrary) لرج معلقات التربة مع الفوسفور النشط إشعاعياً،

والذين اصطلحوا له الرمز E أو قيمة التبادل.

إن تقدير المغذيات المعدنية بطريقة التخفيف النظائري ليس مقتصراً على الفوسفور فقط، فهي أيضاً تطبق على المغذيات المعدنية الأخرى على حد السواء. وقد بذلت جهود لتقدير البوتاسيوم (K) المتاح باستعمال نظير البوتاسيوم (Garham and Kampbell 1968)على الرغم من أن قصر فترة نصف العمر له يحد من استخدام هذه الطريقة.

والأسلوب الآخر لتقدير الفوسفات المتيسر (المتاح) بمساعدة P-32 قد استعمل من قبل Larsen, 1952 وذلك بتتبع النشاط النوعي للفوسفور الممتص من قبل المحصول النامي في التربة المعلمة. وفي هذه الطريقة تخلط التربة جيداً مع فوسفور مشع P-32 بدون ناقل الموجود على شكل فوسفات ذائبة، وفي الغالب تؤخذ عشبة الراي كمحصول اختبار لأخذ عدد من الحصدات، وأن فترة نمو هذا المحصول تسمح بحدوث عملية التخفيف النظائري.

وباستعمال معادلة التخفيف النظائري، فإن قيمة L (القيمة القابلة للإحلال أو تغير (المتحرك):

$$L = \left(\frac{C_o}{C} - 1\right)X$$

حيث Co هي النشاط النوعي للفوسفور المضاف و C هي النشاط النوعي لفوسفور النبات وكمية الفوسفور المضاف على التوالي و X هي كمية الفوسفور المضاف. وبالتطبيق وجد بان قيمة L لا تعتمد على كمية الفوسفور (P) المضاف، وبذلك أصبحت لا تعتمد على الوقت المقترح، مما يعني أن توازن النظير أثناء فترة النمو. وقيمة L نفسها هي مقياس الكمية الكلية

للفوسفور المتاح للنبات في التربة. ولقد عرفها Larsen أيضاً بأنها كمية P في التربة وفي محلول التربة عند تحقيق التوازن النظائري في تبادل مع أيونات الأورثوفوسفات المضافة إلى التربة التي تقاس عن طريق النبات النامي في النظام (Larsen, 1967a). في الأساس فإن فكرة قيم E وقيمة L متشابهة حيث أنهما يمثلان مقاييس كمية الفوسفور النشط، إلا أن قيمة E حُسبت من التقديرات الكيميائية لمحلول التربة بينما أستعمل النبات لتقدير قيمة L وهذا سبب الارتباط القوي بين هذين التقديرين. ولكن كما أشار Arsen, 1967، بأن التقديرات لكل من E وL تكون غير متطابقة، حيث يحدث التبادل النظائري تحت ظروف ببيئية مختلفة بالنسبة لتقدير قيمة E وقيمة L. وقيمة E تشير إلى سطح التربة حيث لا يحصل نزع للفوسفور. ولقيمة L فإن التربة تكون عند مستوى الرطوبي أقل من السعة الحقلية، حيث يحصل نزع للفوسفور، والتي يمكن أن تسبب في تخفيف أكثر كثافة من الذي يكون بوساطة تبادل النظير بمفرده. والطريقتان قد استخدمتا من عدد من الباحثين (Larsen and Cooke, 1961) (Larson and Sutton 1963, Nuttale et al., 1967, özbeki 1969)

وتعطي قيمة L القياس الأفضل لعامل الكمية (Quantity Factor) وفي الحقل فإن هذا يعتمد على حجم التربة المشغول فعلياً والمستنبت بجذور النبات وعلى عمق التربة، والضروب الفيزيائية في قطاع وكمية وتوزيع الرطوبة (Williams, 1970). أن كمية الفوسفور القابل للتغير والأحلال مهماً خاصةً بالنسبة إلى التيسر الجاهزية في التربة الفقيرة في عنصر الفوسفور وكذلك عن احتياج النباتات للتغذية مستدامة بالفوسفور لفترة طويلة كما هو الحال في إنتاج الأعشاب. حيث هناك تحت هذه الظروف يوجد برهان على الارتباط مقياس

الكمية وامتصاص الفوسفور أكثر مما هي عليه بين امتصاص الفوسفور ومقياس الشدة (Williams, 1970).

الطريقة الأخرى لتقدير تيسر المغذي استعمل فيها أحياناً النظائر المشعة هي بتقدير مؤشر دليل الجاهزية أو قيمة A. وهذه الفكرة وضعها كل من (Fried and Deam, 1952). واللذان اقترحا بأن النبات يقابل نوعين من المصادر الغذائية أحدهما التربة والآخر الكمية المعروفة من السماد المضاف كمعدل، ويمكن تقدير كمية المغذي المتاح (الجاهز) بشريطة تقدير الجزء من المغذي المأخوذ من قبل النبات من المستوى يمكن تقديره. وعند وصف الباحثين للفكرة لم يعطوا وسائل القياس. ولهذا استعملت لتقدير الفوسفور المتاح باستعمال P-32 المضافة مع السماد. وللضرورة يجب أن يكون الوقت لمثل هذا التقدير إلى الحد الأدنى، لان مصدر المخصبات سوف يحدث له توازن مع التربة. وقد تطبقت الفكرة الأصلية لنظرية في تقدير جاهزية لعديد من مغذيات التي شملت Zn و Ca و N و S. والاختلاف في مفاهيم بين هذه المقاييس لقد شرحت بإيجاز من قبل Fried (1964) and Larson (1967).

6.4.2 طريقة الترشيح الفائق (المتطرف) الكهربائي (EUF)

لقد طورت الطريقة حديثاً من قبل Nemeth ومساعديه الذي بها يمكن الحصول على أجزاء مختلفة من المغذيات التربة وهذه تمكّن من التميز ما بين شدة المغذي (تركيز محلول التربة) وكمية المغذي (المغذيات القابلة للتبادل سهولة الذوبان) وقد أثبتت فكرة هذه الطريقة من الأبحاث المبكرة لـKötthen 1933. ومبدأ هذه الطريقة مبني على استعمال المجال (الحقل)

الكهربائي لفصل أجزاء المغذي من معلق التربة وأثناء العملية يزداد الجهد من 50 إلى 400 فولت التي تؤدي إلى زيادة القوة التي بها تنفصل المغذيات النباتية المدمصة على جزيئات التربة. الجزء الأول يتحرر بعد عشرة دقائق عند جهد 50 له ارتباط قوي مع تركيز المغذيات المعدنية في محلول التربة، وهذا الجزء يمثل عامل الشدة والمغذيات المعدنية التي يُحصل عليها عند الجهد أعلى لها ارتباط مع المغذيات المتبادلة وسهلة الذوبان، ومن ثم فإن هذا الجزء يمثل عامل الكمية. ويمكن تقدير أكثر من عشرة مغذيات نباتية مختلفة من عملية استخلاص واحدة. والنتائج الأولى التي تم الحصول عليها بهذه الطريقة كانت مشجعة لإعطاء توصيات في التسميد معتمدة على نتائج EUF التي تتطابق بشكل جيد مع استجابة المحاصيل لتسميد (Nemeth and Harrach 1974). وقرر Wannsunria et al, 1981 أنه استخلاص K^+ من ترب الأرز بوساطة طريقة EUF أعطت أفضل مؤشر (دالة) لبوتاسيوم K^+ المتاح من تقديره (K^+) المتبادل. وصف Nemeth, 1979 حديثاً طريقة وتطبيقات EUF.

7.4.2 تقدير النيتروجين المتاح

يشكل تقدير النيتروجين المتاح في التربة أكثر من تقدير العناصر الغذائية الكبرى الأخرى، حيث لا يتأثر نيتروجين التربة بصورة رئيسية بالتفاعلات الفيزيائية والكيميائية بل أنه يعتمد كثيراً على العمليات الحيوية (البيولوجية). وبصورة عامة يوجد نيتروجين التربة على صورة نيتروجين عضوي، وأن تيسيره يعتمد على عمليات التمعدن (المعدنة) التي بها يتحول النيتروجين العضوي إلى نيتروجين في صورة أمونيوم NH_4-N. ويتأثر بوضوح معدّل معدنة النيتروجين العضوي والتحولات الأخرى التي عن طريقها يتحول الأمونيوم NH_4 إلى نترات

NO_3 (انظر 4.1.7) برطوبة التربة (Sabey, 1969) ودرجة الحرارة. وهذا هو أحد الأسباب التي توضح الأختلاف الكبير لمحتوى النيتروجين الذائب في محلول التربة خاصة في صورة نترات (Harmsen, 1959). ولهذا السبب فإن تقدير تركيز النترات في محلول التربة لا يعطي بصفة عامة الوسيلة المقنعة لتقدير N المتاح في التربة على الرغم من الأجهزة الحديثة مثل القطب الكهربائي للنترات Nitrate electrod والتي يمكن لها تقدير محتوى النترات بسهولة في مستخلص التربة (Myers and Paul 1968) وإن التقدير الكلي للنتروجين العضوي لا يعطي أيضاً مؤشراً للنتروجين المتاح. ومن ناحية أخرى فإن معدل معرفة نيتروجين التربة العضوي يكون أكثر كلما كانت نسبة الكربون C إلى النتروجين N للمادة العضوية في التربة أضيق. وهذا يعني أن الترب تكون مادتها العضوية ذات محتوى مرتفع نسبياً من النتروجين يكون أيضاً معدل انطلاق النيتروجين الغير عضوي فيها مرتفع، والعكس صحيح. والشكل 22.2 يبين العلاقة بين معدَّل معدنة النتروجين ونسبة الكربون إلى النتروجين (الكربون الكلي / النتروجين الكلي) في الترب (Van Dijk , 1968) وحسب ما قرره هذا الباحث فإن كمية النتروجين الكلي في قطاع التربة تتحكم في معدل عملية معدنة النتروجين بالإضافة إلى نسبة C / N للمادة العضوية. إلا أنه وجد أن هذه العلاقة غير مقنعة كثيراً لمجموعات أخرى.

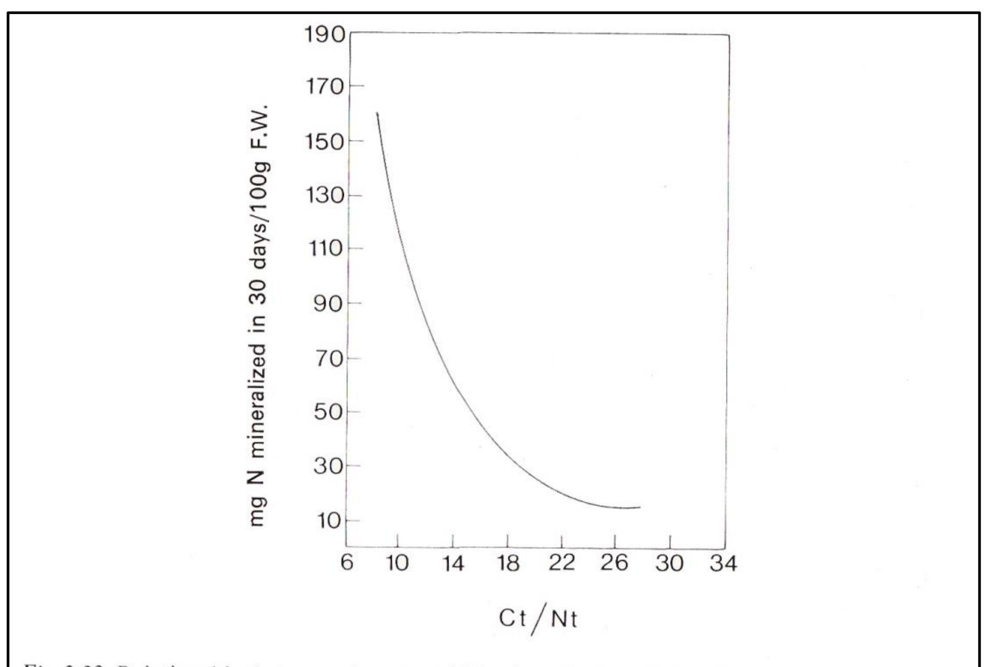


Fig. 2.22 Relationship between the rate of N mineralized and the C/N ratio of the organic matter (modified after VAN DIJK [1968]).

وطريقة تحضين التربة هي الوسيلة الأكثر شيوعاً لتقدير النتروجين المتاح في التربة. حيث ترطب التربة إلى أن تصل إلى محتوى رطوبي معين، وتحضن تحت درجة حرارة 25–37سْ لمدة 2–3 أسابيع تتوقف على الطريقة المستعملة. وفي أثناء فترة التحضين تكون الكائنات الحية الدقيقة قد واتتها ظروف جيدة وملائمة لمعدنة النتروجين العضوي في التربة. وإن كمية N التي تمعدنت أثناء فترة التحضين والمقاسة عن طريق الـ NH_4. و NO^-_3 المتحررة، تعطي مقياساً لتيسير النيتروجين المتاح في التربة موضع الاختبار. وقد وضح Bremner, 1965 بالتفاصيل مختلف التقنيات لتقدير النتروجين المعتمدة على أسس هذه

الطريقة.

تقدير محتوى النترات في منطقة الجذور لقطاع التربة استعمله العديد من الأبحاث بنجاح كمقياس للنتروجين المتاح في التربة (Borst and Mulder 1971, Soper and Huang, 1962) وأستعمل Wehmann ومساعديه هذه التقنية بتوسع في تقدير النتروجين المتاح للقمح في ألمانيا. حيث تؤخذ العينات في بداية فصل الربيع (فبراير مارس) من منطقة الجذور بعمق قد يصل إلى متر، وهذه عينات الطازجة (حوالي 150 جرام من التربة الجافة) واستخلصت بـ 600 مل N1 من NaCl+ 1N0. من $CaCl_2$ لفترة ساعة واحدة. بهذه الطريقة يستخلص النترات ويتم تبادل الأمونيوم NH_4 الغير مدمص نوعياً. كل من هذين الجزئيين من النتروجين. بصفة عامة يكون النترات أكثر الأجزاء، وقد وجدت كميات كبيرة من النتروجين في صورة أمونيوم NH_4-N فقط عند إضافة الذبال العضوي organic manure وخاصةً المخلفات الحيوانية (Slurry). وقد أخذ في الاعتبار محتوى الرطوبي لعينة التربة. وانضغاط التربة وعمق الجذر فتم حساب كمية النتروجين المتاح NO^-_3 + NH_4^+ المستخلصة على أساس هكتار ويعبر عنها بكجم (كيلوجرام) نتروجين / هكتار (Scharpf and Wehrmann 1975)، وهذه هي الأسس المعتمدة في وضع توصيات التسميد بالنتروجين. وتوضح العديد من التجارب الحقلية التي أجراها كل من (Wehrmann and Scharpf 1979) وضحت أن كمية النتروجين المتاح التي توجد في بداية الربيع، يجب أن تحسينها بإضافة النتروجين المعدني N، وهذا يعني أن مجموع كل من النتروجين المتاح في التربة والنتروجين المضاف، يكون في معدّل 120 – 140كجم N / هكتار.

وهذه الكمية تضمن إضافة معدل الأمثل من النتروجين المضاف أثناء مرحلة النمو الخضري لنبات القمح الشتوي تحت ظروف النمو في ألمانيا الغربية سابقاً. بالإضافة إلى هذا إن التزويد المبكر بالنتروجين ، فإنه يوصي بمعاملة أخرى يضاف فيها 40 – 60 كجم N / هكتار في مرحلة متأخرة من النمو. وتعرف هذه التقنية لتقدير النتروجين المعدني في قطاع التربة الربيع method"Nmin " والتي أثبتت بأنها طريقة مفيدة في تقدير N متاح. وتستخدم الآن بشكل واسع في ألمانيا الغربية سابقاً وهولندا. في الترب التي يتم فيها معدنة كميات كبيرة من N(> 30 كجم N / هكتار). وهذه الطريقة غير مناسبة للتوصية باستعمال الأسمدة النيتروجينية أثناء فصل الربيع وبداية فصل الصيف.

8.4.2 **تحليل الورقة والنبات والأنسجة**

إن تحليل أجزاء النبات يمثل أسلوباً آخر في تقدير المغذيات المعدنية المتاحة في التربة. وهذه الطريقة بنيت على أساس فكرة أن كلما يزداد محتوى النباتي من مغذٍ معين كلما كان تيسره في التربة أكثر. طور الباحث Lundegadh (1949) هذه الطريقة منذ أكثر من 30 سنة مضت. وأن المبدأ التي بنت عليه الفكرة سليمة، لأن العناصر الغذائية تُمثل ما هو متاح أصلاً في التربة. ولكن لسوء الحظ توجد مآخذ على التقنية، حيث أن المحتوى المعدني في النبات، لا يعتمد فقط على تيسر المغذيات في التربة بل انه يتأثر أيضاً بعدة عوامل أخرى، والتي سوف يتم شرحها بتفصيل فيما بعد.

وهناك علاقة أساسية بين محتوى المغذي في النبات ونمو أو حاصل إنتاج النبات. وهذا مبين في الشكل 23.2 من قبل (Smith, 1962). وعندما يكون محتوى المغذي أو

تركيزه في نسيج النبات منخفضاً جداً، فإن معدل النمو يكون أيضاً منخفضاً. والمحتوى من المغذي ينخفض قليلاً في البداية بزيادة معدل النمو بسبب تخفيف التركيز الناتج بالإنتاج العالي للمادة النباتية. وفي المرحلة الثانية يتحسن معدل النمو بدون أي تغير ملحوظ في المحتوى من المغذي. ويزداد كذلك معدل النمو والمحتوى من المغذي كلما يزداد تيسر المغذي في التربة، إلى أن يبلغ ما يعرف بالمستوى الحرج. تحسن تيسر المغذي في التربة أكثر من هذا المستوى ليس له أي تأثير معنوي هام على معدل النمو، في حين يتعزز محتوى النبات من المغذي. للأغراض المعملية (التطبيقية) فإن النقطة المهمة هي المستوى الحرج الذي لا حصل عنده أي زيادة في الإنتاج نتيجة زيادة محتوى المغذي في النبات. وإن إضافة العنصر المغذي بمستويات مفرطة يُضعف النمو، ولوحظ بأنها تزيد من محتوى المغذيات.

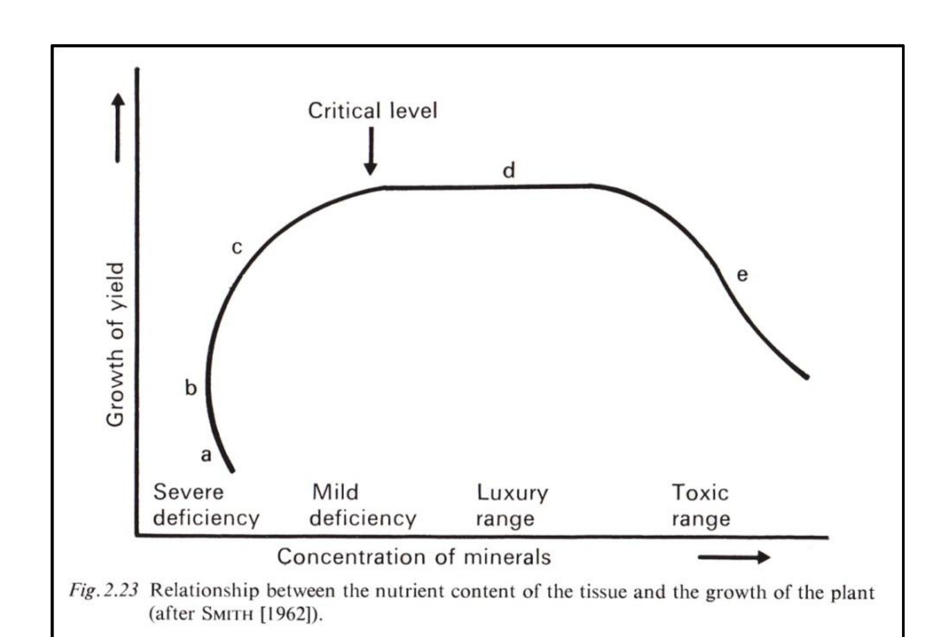


Fig. 2.23 Relationship between the nutrient content of the tissue and the growth of the plant (after SMITH [1962]).

كما هو مبين في الشكل 23.2 فإن هذه المراحل المختلفة لمحتوىالنبات من المغذي فهي النقص الشديد والنقص المتوسط والمدى المفرط والمدى السام.

أن محتوى تيسره في التربة فحسب، بل يتأثر أيضاً بعوامل أخرى مثل نوع العضو أو أنسجة النبات وعمر النبات وإمداد النبات بالمغذيات الأخرى. وعلى سبيل المثال أن محتوى الفوسفور 0.2 % في المادة الجافة للتبن المحاصيل يعتبر عالياً، إلا أن نفس هذا المحتوى من الفوسفور للنبات حديث النمو يعتبر قليلاً للحصول على نمو نباتي مثالي. والمحتوى من البوتاسيوم المساوي لـ 0.6 % في حبوب الشوفان يعتبر عالياً، إلا أن نفس هذا المحتوى يكون قليلاً جداً بالنسبة لأجزاء النبات الخضرية للحصول على نمو جيد. وتوضح هذه الأمثلة كذلك بان تحليل النبات أو أنسجته يجب أن تأخذ في الاعتبار عمر النبات وعضو النبات. وبدون هذا الاختلاف يكون مستحيلا المقارنة بين العينات لمواقع مختلفة لتقديم توصيات التسميد.

وبصفة عامة يتناقص محتوى النتروجين N والفوسفور P والبوتاسيوم K بزيادة عمر النبات أو عمر جزء (عضو) النبات، بينما يزداد محتوى كل من كالسيوم Ca والماغنسيوم Mg والمنجنيز Mn والبورون B بتقدم عمر النبات (جدول 15.2) ولهذا فإن الأوراق الحديثة تظهر محتوى عالياً نسبياً من النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، بينما يمكن ملاحظة تراكم Ca في الأوراق القديمة ولهذا السبب يجب أن تكون عينات الأوراق لغرض تحليل الأنسجة في نفس العمر الفسيولوجي، أو تكون مأخوذة من نفس نقطة الاتصال بالساق.

Table 2.15 Trends of mineral content in relation to plant tissue age (SMITH [1962])

Plant	Decrease with age	Increase with age
Apple	N, P, K	Ca, Mg
Blueberry	P	Ca, Mg
Citrus	N, P, K, Cu, Zn	Ca, Mg, Mn, Fe, Al, B
Citrus (fruit)	N, P, K, Mg	Ca
Fig	N ,P, K	Ca, Mg
Peach	N, P, K, Cu, Zn	Ca, Mg, Mn, Fe, Al, B
Pine	K	Ca
Vegetables	N, P, K	Ca

بالمقارنة مع تحليل التربة، فإن تحليل الأوراق أو أنسجة النبات يعكس ظروف امتصاص المغذي من التربة وعلى سبيل المثال أن امتصاص العديد من المغذيات النباتية يعتمد على تنفس الجذور، فيمكن كذلك أن يكون الامتصاص منخفض نتيجة لرداءة تهوية التربة. ومن ناحية أخرى فإن ظروف الرطوبة المثالية للتربة تحسن إمداد وامتصاص الجذور للمغذيات. وعليه فإن المحتويات الغذائية المرتفعة في النبات الناتجة تحت هذه الظروف يمكن أن تكون نتيجة للظروف المثالية للامتصاص أكثر منها للحالة الغذائية المرتفعة في التربة. (Friis-Nielsen, 1966). فإن المحتوى العالي لمغذٍ واحد في النبات يمكن أن يكون نتيجة لعدم كفاية الإمداد بمغذٍ نباتي آخر. فمثلاً عندما تكون إضافة (إمداد) بالنتروجين قليلة فإن هذا يعرقل النمو يمكن أن ينتج عنه تراكم لمغذيات نباتية أخرى، فغن تعرقل النمو يمكن أن ينتج عنه تراكم لمغذيات نباتية أخرى، لأن نقص النتروجين يكون غالباً له تأثير كبير على معدل النمو، أكثر من تأثيره على امتصاص المغذي. وعند تفسير نتائج التحليل للنبات يجب أن يؤخذ في الاعتبار العلاقة التضادية (antagonistic) والتحفيزية (synergistic) بين

المغذيات النباتية. والتأثير التضادي هو الذي يكون فيه امتصاص عنصر غذائي واحد يقيده (يحدده) امتصاص عنصر غذائي آخر، إلا أن العلاقة التحفيز تكون عكس التأثير التضادي، حيث امتصاص عنصر غذائي واحد يحفزه عنصر غذائي آخر. وأن طبيعة التأثير التضادي والتحفيزي ستناقش بتفاصيل أكثر في (8.1.3).

وفي معظم الحالات ترتبط نتائج تحليل الورقة أو الأنسجة النبات بشكل جيد مع نتائج اختبارات التربة (Hipp and Thomas 1968) وبهذا فإن التحليل الورقي يمكن أن يحل محل تحليل التربة، والعكس صحيح ولكن تحليل الورقة أو النسيج يعكس كذلك ظروف الامتصاص كما سبق سرحه. والاختلاف الآخر بين كلتا التقنيتين (الطريقتين) هو أن العلاقة بين المحتوى من المغذي وجاهزية (تيسر) المغذي في التربة يتبع بصفة عامة منحنى خطي متقارب (asymptotic curve) كما هو موضح في الشكل (24.2). وهذا يعني إمكانية حدوث تغيرات طفيفة فقط بعد المستوى الحرج للمغذي في النبات، على الرغم من زيادة جاهزية (تيسر) المغذي في التربة، وبهذا فإن تحليل الورقة والأنسجة النبات تكون مفيدة خاصة في المدى الذي يكون فيه تيسر المغذي منخفضاً.

ولكن لا يكون تحليل الورقة حساساً بما فيه الكفاية، عند المدى المرتفع من تيسر المغذي في التربة، وهنا يكون تحليل التربة أكثر ملاءمة.

وبدون شك فإن التحليل النبات يكون أداة مفيدة لتقدير حالة الغذائية لمختلف المحاصيل النباتية، بشريطة أن يؤخذ في الاعتبار العوامل التي سبق ذكرها مثل أنسجة النبات (عضو النبات) وعمر النبات وكذلك إضافة المغذي مع مغذيات الأخرى. والخاصية

الأساسية للتحليل الورقي تمكن في تحديد (تقدير) المستوى الحرج الذي لا تحدث بعده زيادة في النمو (الشكل 23.2). وأثبت هذا في العديد من الأبحاث خلال سنوات مضت لمختلف

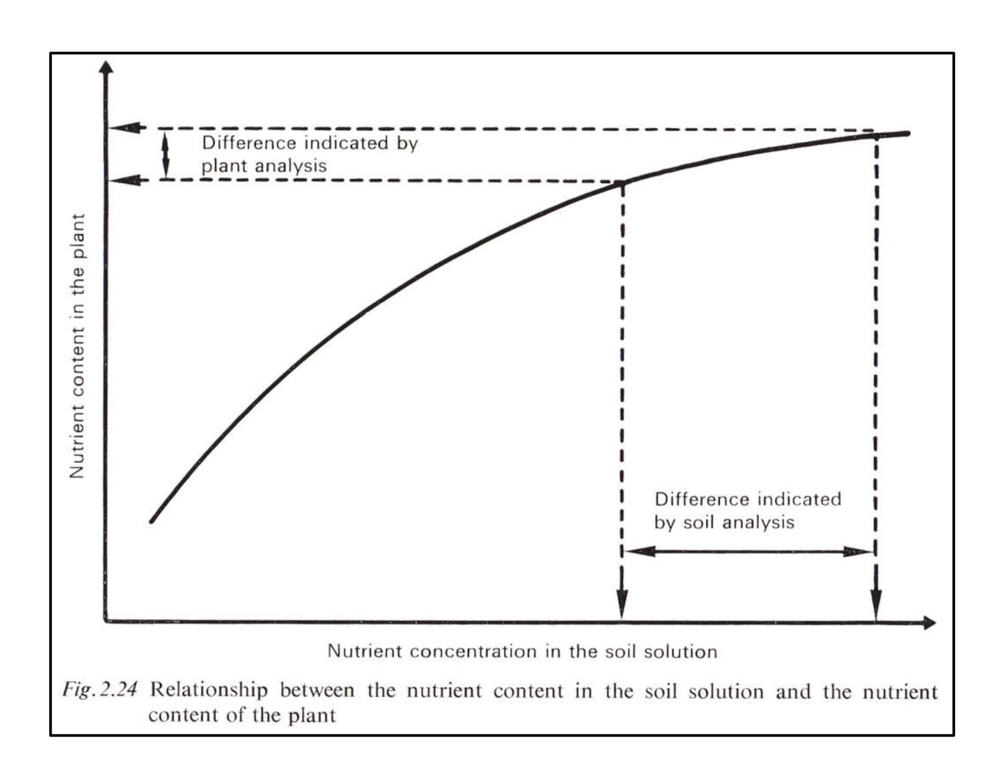


Fig. 2.24 Relationship between the nutrient content in the soil solution and the nutrient content of the plant

المحاصيل والمغذيات (Clement and Hopper 1968) و (Loue (1968,1975) , Ulrich and Fong (1969), Ward and Miller 1969, Finck, 1968, Gollmick et al., 1970). وجدول 16.2 كمثال يوضح محتوى أوراق نبات الذرة من العناصر الغذائية المختلفة (Gollmick et al., 1970) ولكن تختلف المستويات الحرجة حتى في نفس نوع النبات، وهذه النتائج يمكن أن تعزى إلى مدى واسع ظروف البيئة التي نشأت فيها المستويات الحرجة. وعموماً يظهر أن هناك حاجة لمستويات الحرجة عالية عند الزراعة المكثفة.

إن التحليل الورقي والأنسجة يعطي الأسلوب الجيد لتقدير الحالة الغذائية في النبات المعمرة مثل أشجار الفاكهة، والعنب (الكروم) والشاي وأشجار الغابات (Boule and Fricker 1970) ومحاصيل نباتية مختلفة أخرى (Turner and Barkus 1974). إن هذه النباتات تنمو لسنوات أو بالأحرى لعقود في نفس المكان وتحت الظروف المناخية، حيث تنشأ المستويات الحرجة بسهولة مقارنة مما هو عليه للمحاصيل الحقلية.

Table 2.16 Appraisal of the nutrient status of the ear leaf of maize at the flowering stage (CHRISTENSEN cited by GOLLMICK *et al.* [1970])

Element	In % in the dry matter				
	Deficient	Low	Adequate	High	Excess
N	<2.0	20.–2.5	2.5–3.5	>3.5	
P	<0.1	0.1–0.2	0.2–0.5	0.5–0.8	>0.8
K	<1.0	1.0–1.5	1.5–3.0	3.0–5.5	>5.5
Ca	<0.1	0.1–0.2	0.2–1.0	>1.0	
Mg	<0.1	0.1–0.2	0.2–1.0	>1.0	
	In ppm in the dry matter				
	Deficient	Low	Adequate	High	Excess
Mn	<10	10–20	20–200	200–350	>350
Fe	<10	10	10–300	300–550	
B	<2	3–5	6–40	40–55	>55
Cu	<2	3–5	6–50	50–70	>70
Zn	<15	15–20	20–70	70–150	>150

ولقد تم إنشاء مثل هذه القيم الحرجة لأشجار التفاح بصورة جيدة جداً في الجدول 17.2 الذي يعطي مدى المحتويات المعدنية في أوراق التفاح (Naubert et al., 1970). ومن ناحية أخرى قد تظهر اختلافات كبيرة في المستويات الحرجة في أصناف لنفس النوع (Champman 1960). وكمثال لهذه الاختلافات وضحت في جدول 18.2 لمختلف أوراق

موالح (Bar-Akiva, 1970). ويكون الاختلاف خصوصاً في محتوى البوتاسيوم واضحاً في الأوراق، حيث هناك عدد من المراجع المفيدة ذات علاقة بتشخيص الحالة الغذائية للمحاصيل (Chapman, 1966, Gollmick et al., 1970, Kozma, 1975, Bergmann and Neubert 1976).

Table 2.17 Nutrient appraisal of apple leaves, sampled at the base of new shoots (NEUBERT *et al.* [1970])

Element	In % in the dry matter		
	Low	Adequate	High
N	<1.8	1.8–2.4	>2.4
P	<0.15	0.15–0.30	>0.30
K	<1.2	1.2–1.8	>1.8
Ca	<1.0	1.0–1.5	>1.5
Mg	<0.25	0.25–0.40	>0.40
	In ppm in the dry matter		
	Low	Adequate	High
B	<25	25–50	>50
Cu	<5	5–12	>12
Mn	<35	35–105	>105
Zn	<25	25–50	>50
Fe	<50	50–150	>150

Table 2.18 Effect of variety on citrus leaf composition (BAR-AKIVA [1970])

(Percent in dry matter of 8–9 month-old leaves sampled from fruit-bearing terminals)

Variety	N	P	K	Ca	Mg
Shamouti orange	2.13	0.12	1.25	6.27	0.21
Washington navel orange	2.26	0.10	0.91	6.13	0.17
Valencia orange	2.10	0.08	0.56	7.02	0.23
Marsh Seedless grapefruit	1.68	0.06	0.90	6.02	0.25

كما وضح أعلاه بأن استعمال تحليل التربة لتقدير النتروجين المتاح يظهر عدداً من الصعوبات. ولهذا السبب فإن تحليل النسيج لتقدير N له أهمية خاصة. وأجرى Ulrich ومساعدوه في كالفورينا عدداً من الأبحاث لاختبار ما إذا كان محتوى البتول (Petioles) في نبات بنجر السكر من النترات تعطي دليلاً لتقييم تغذية المحاصيل النباتية بالنتروجين (Ulrich et al., 1967). حيث من الصعب تقدير مستوى النترات الحرج إلا أن النترات NO_3^- التربة يمكن أن تباين وبشكل كبير حتى في الفترة الزمنية القصيرة. ويتناقص أيضاً محتوى النترات في البتول (Petioles) نبات بنجر السكر بزيادة العمر. ولأجل الحصول على نمو مُرضٍ يجب أن تحتوي أوراق نبات بنجر السكر حديثة النضج على 0.1% تقريباً من النتروجين على هيئة نترات في البتول.

والطريقة الجديرة بالاهتمام لتقدير حالة للنتروجين الغذائية للنبات قدمها Bar-Akiva and Sternbaum 1965 وفكرة هذه الطريقة تبنى على حقيقة بأن نشاط أنزيم اختزال النترات Nitrate reductase تعتمد على وجود النترات في الخلية. ولهذا السبب تكون للأوراق المزودة بالنترات بوفرة نشاط عالٍ لأنزيم اختزال النترات (Nitrate reductase) والعكس صحيح. وان فحص أنزيم اختزال النترات Nitrate reductase كتقنية (طريقة) لقياس نشاط أنزيم اختزال النترات الأصلي في عينة من الورقة ، ونشاط أنزيم الاختزال المحفز الناتج من إضافة النترات لعينة المقارنة. وإذا كان النشاط المحفز الناتج من الإضافة اعلي عن مقارنة مع النشاط الأصلي، فإن التزويد بالنترات يكون ضعيفاً في النبات موضع الاختبار. ويكون التزويد بالنترات غير كافٍ، إذا كان نشاط أنزيم اختزال النترات المحفز أعلى بمقدار

1.5 مرة من النشاط أنزيم الأصلي Nitrate reductase .عليه فإن النسبة بين النشاط المحفز الناتج إلى النشاط الأصلي (حاصل قسمة إنزيم الاختزال) (Nitrate reductase quotient) تساعد كمقياس لحالة النتروجين غذائية للنبات

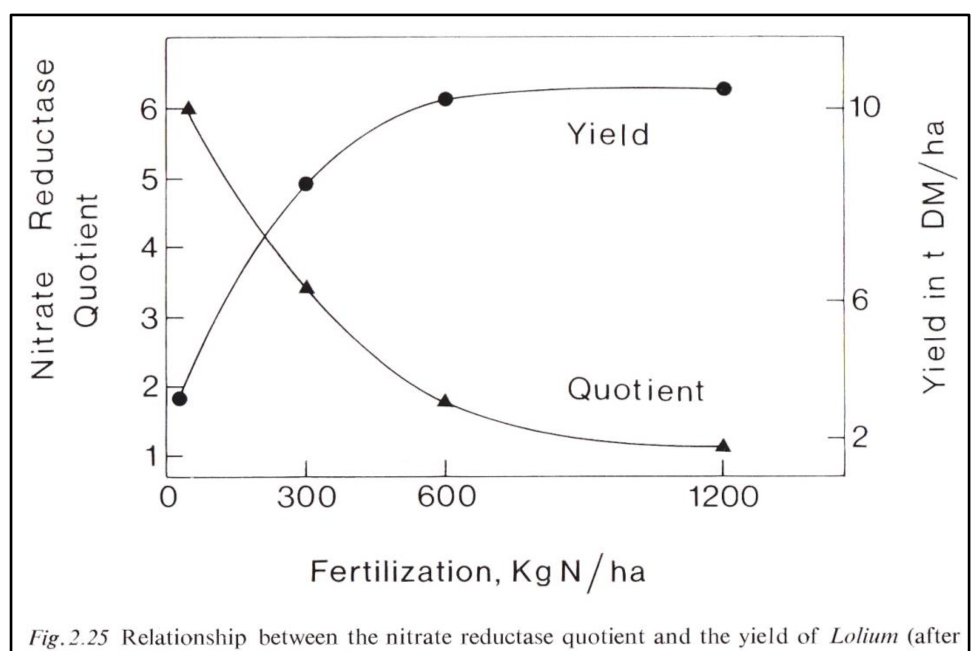


Fig. 2.25 Relationship between the nitrate reductase quotient and the yield of *Lolium* (after Bar-Akiva *et al.* [1970]).

وقد وجد أن هذه النسبة تكون أكثر من 10 في المحاصيل التي يكون تزويدها بالنتروجين غير كافٍ. وباهتمام كافٍ لاحظ Bar-Akiva et al,1970 أن النسبة 1.5 يمكن أن تعتبر المثلي لأنواع النباتات المختلفة من أشجار الموالح حتى إلى عشبه الراي. والشكل 25.2 بين العلاقة بين حاصل قسمة النشاط المحفز الأصلي لأنزيم الاختزال النترات Nitrate

reductase والإنتاج لعشبة الراي (Bar-Akiva et al., 1970) .

في بعض التقنيات تستعمل الكمية الكلية للمغذيات الممتصة بالنبات دليلاً على خصوبة التربة. وفي طريقة نيوبوير (Neubauer Method) نامت عشبه الراي لفترة أسبوعين في خليط من رمل الكوارتز وفي التربة موضع الاختبار. حيث أن كمية البوتاسيوم (K) والفوسفور (P) الممتصة من التربة بوساطة النباتات الحديثة في هذه الفترة تساعد كمقياس للحالة الغذائية في التربة (Neubaur And Schender 1932) والكميات التي تكون اكبر من 20ملجم K، 3ملجمP، لكل 100جرام تربة قد اعتبرت مستويات مرضية.

وطريقة متشرليش تستعمل فبها أيضاً خليطاً من رمل الكوارتز والتربة ، إلا أن النباتات نمت في اصيص أكبر ولفترة زمنية أطوال مقارنة بطريقة نيوبور. يُحسب تيسر المغذي في التربة (Mitscherlich,1954) .طبقاً لمعادلة متشرليش من زيادة في مقدار الإنتاج الحادثة بوساطة المغذي (انظر4.2.5).

9.4.2 طرق الحيوية

استعملت الطرق الحيوية أيضاً لتقييم العناصر الغذائية المتاحة في التربة. وهنا استخدمت الفطريات وليس النباتات الراقية. وتستعمل هذه التقنية بصورة خاصة لتحديد تيسر العناصر الغذائية الصفري في التربة مثل المولبيديم Mo والزنك Zn والنحاس Cuوالحديدfe .ويضاف المحلول الغذائي الذي لا يحتوي المغذي موضع الاختبار إلى التربة مستهدفة بالبحث، وبعد ذلك يلقح معلق التربة بالكائنات الحية الدقيقة، وعادة يستعمل فطر *Aspergillus niger* وتحضن لعدة أيام تحت درجة الحرارة ثابتة، ثم يقدر نمو الفطريات بوساطة وزن الميسيلوم الناتج يستعمل مقياس جاهزية العنصر.

.(Nicholase 1960,Stapp and Wetter,1953)

قراءات عامة

General Reading

BARLEY, K.P.: The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. Adv. Agron.22, 195-201 (1970).

BAVER, L.D., GARDNER, W.H. and GARDNER, W.R.: Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney and Toronto 1972.

BEAR, F.E.: Chemistry of the Soil. Van Nostrand Reinholt Comp., 1969.

BERGMANN, W. and NEUBERT, P.: (G) Plant Diagnosis and Plant Analysis. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1976.

BOHN, H.L., McNEAL, B.L. and O'CONNOR, G.: Soil Chemistry. Wiley, New York, London, Sydney and Toronto 1979.

BOLT, G. H. and BRUGGENWERT, M. G. M.: Soil Chemistry. Part A: Basic Elements. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam and New York, 1976.

BURESH, R.J., CASSELMAN, M.E. and PATRICK, W.H. jr.: Nitrogen fixation in flooded soil systems, a review. Adv. Agron. 33, 150-192 (1980).

CARSON, E. W., Ed.: The Plant Root and Its Environment. Univ. Press of Virginia, Charlottesville, USA, 1974.

GREENLAND, D.I. and HAYES, M.H.B. Eds.: The Chemistry of Soil Constituents. Wiley, New York, London, Sydney, Toronto 1978.

GREENLAND, D.I. and HAYES, M.H.B. Eds.: Chemistry of Soil Processes. Wiley, New York, London, Sydney and Toronto 1981.

HALE, M.G. and MOORE, L.D.: Factors affecting root exudation II: 1970-1978. Adv. Agron. 3/,93-124 (1979).

HARLEY, J.L. and RUSSELL, R.S.: The Soil-Root Interface. Academic Press London, New York, San Francisco 1979.

HESSE, P.R.: A Testbook of Soil Chemical Analysis. John Murray, London

1971.
HEWITT, E.I. and SMITH, T.A.: Plant Mineral Nutrition. English Univ, Press, 1975.
JENNY, M.: The Soil Resource. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1981 KOZMA, P. (F): The Control of the Mineral Nutrition of Crop Plants. 3rd European and Mediterranean Coloqu., Akademiai Kiado, Budapest 1975.
MARSHALL, T.J. and HOLMES, J.W.: Soil Physics. Cambridge, 1979.
NEMETH, K.: The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF) Adv. Agron. 31, 155-188 (1979).
NYE, P.H.: Diffusion of ions and uncharged solutes in soils and soil clays. Adv. Agron. 3/, 225-272 (1979).
NYE, P.H. and TINKER, P.B.: Solute Movement in the Soil-Root System. Blackwell, Oxford 1977.
PARFITT, R.L.: Anion adsorption by soils and soil materials. Adv. Agron. 30,1-50 (1978).
PONNAMPERUMA, F.N.: The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24, 29-96 (1972).
RUSSELL, E.W.: Soil Conditions and Plant Growth, Longmans, London 1973.
RUSSELL, R.S.: Plant Root Systems: Their Function and Interaction with the Soil. McGraw Hill Book Company, London, 1977.
SCHEFFER, F. and SCHACHTSCHABEL, P. (G): Textbook of Soil Science. F. Enke Verlag, Stuttgart, 1976.
SCHLICHTING, E. and SCHWERTMANN, U. (G): Pseudogley and Gley, Verlag Chemie, Weinheim, 1973.
TAYLOR, H. M. and KLEPPER, B.: The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. Adv. Agron. 30, 99-128 (1978).
TINKER, P.B. Ed.: Soils and Agriculture. Critical Reports on Applied Chemistry. Vol. 2. Soc. Chem. Ind. Blackwell, Oxford 1980.
TORREY, J. G. and CLARKSON, D. T.: Eds.: Development and Function

of Roots. Academic Press, London, New York, San Francisco 1975.
TOWNSEND, W.N.: An Introduction to the Scientific Study of the Soil. Edward Arnold, London 1973.
WALSH, L. M. and BEATON, J.D.: Soil Testing and Plant Analysis, Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1973.
WHITE, R.E.: Introduction to the Principles and Practice of Soil Science. Blackwell, Oxford 1979.

(F) = original text in French.
(G) = original text in German.

الفصل الثالث

امتصاص المغذي وتمثيله

1.3 الامتصاص الأيوني والحالة الأيونية في النباتات

1.1.3 الخلية النباتية

قبل البدء في وصف العمليات المختلفة لامتصاص المغذي وعملية تمثيلية، يبدو من الأهمية إعطاء صورة مبسطة عن الخلية النباتية. وفي الفصلين السابقين تم تناول المواد غير العضوية باستضافة. حيث يعتبر الامتصاص الأيوني العملية المحددة حيث تكون حقلاً واسعاً يؤثر في حاجة العالم الحي. والخلية الحية هي أصغر وحدة في المادة الحية.

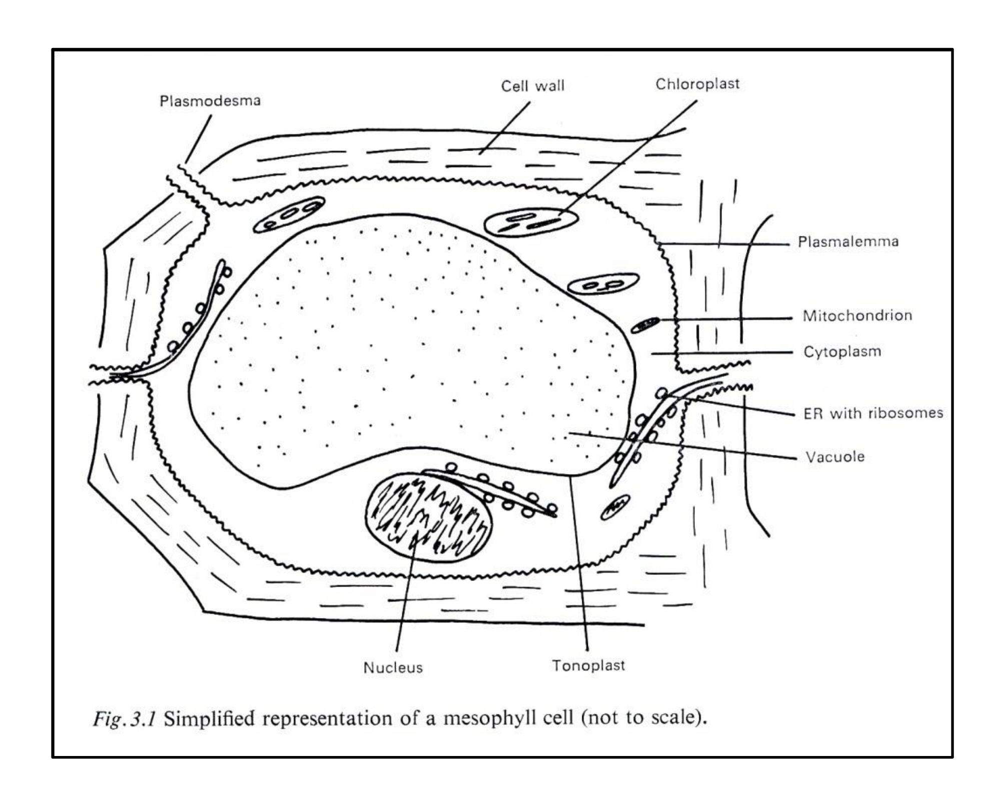


Fig. 3.1 Simplified representation of a mesophyll cell (not to scale).

والشكل 1.3 يبين المخطط المبسط الذي يمثل خلية النسيج الوسط (Mesophyll) لورقة

النبات.وقد وضحت معظم العضيات (Organelles) المهمة في الشكل. وأن الجدار الخلوي يتكون من مواد بكتينية وسليلوز، ويمثل السليلوز إلى التجمع ليكون سلسلة يشبه في شكلها ألياف دقيقة (macrofibrills). تسمح المسافات البينية للألياف الدقيقة الداخلية بدخول الماء والهواء والجزيئات الذائبة إلى الجدار الخلوي. والغشاء البلازمي أو البلازماليما هو الغشاء الذي يحد بين السيتوبلازم والجذر الخلوي، والتونوبلاستت Tonoplast (الغشاء البلازمي الداخلي) هو الغشاء الذي يفصل السيتوبلازم عن فجوة الخلية. إن الأغشية وتركيبها سوف تؤخذ بالاعتبار وبصورة تفصليه أكثر فيما بعد. وتعتبر الأعضاء التي تضم النواة والبلاستيدات الخضراء والميتوكندريا الواقعة في السيتوبلازم هي أهم العضيات الموجودة داخل الخلية. والبلاستيدات هي من العضيات التي يحدث فيها تحولات الطاقة الضوئية، وتمثل ثاني اكسيد الكربون. وتوجد في الميتوكندريا الأنزيمات التي تتحكم في مختلف خطوات دورة حامض الكربوكسيل الثلاثي والتنفس وأيضاً الأحماض الدهنية والريبوسومات هي عدد من جزيئات Supramolecular متجمعة ومؤلفة من الحامض النووي الرايبوسومي والبروتينات التي تمكن من تكوين من البيتيدات المتعددة (Polypeptides) من الأحماض الأمينية لحرة. والكثير من الرايبوسومات تكون متصلة بالشبكة الاندوبلازمية (ER) التي يشبه تركيبها رقائق متضاعفة (ورقة مطوية) التي تكون سلسلة من قنوات غشائية تسمح للسيتوبلازم وغالباً تقودها من خلية إلى أخري إن الوظيفية الحقيقة للشبكة الاندوبلازمية بالتحديد تكون غير واضحة، وكلن تبدو أنها تلعب دوراً في تصنيع الروتينات وانتقالا خلال السيتوبلازم. وتكون الخلايا مرتبطة مع بعضها بالخيوط البلازمية Plasmodesmata الوصلة البلازمية المستمرة التي

تحدث في الخلايا النسيج تسمي بالـ Symplasm. وتحتوي الفجوة على محلول مائي يتركب بصورة رئيسية من أيونات غير عضوية (معدنية) وكذلك بعض المواد العضوية ذات الوزن الجزئي المنخفض مثل الأحماض العضوية والأحماض الأمينية والسكريات. وربما يوجد الأكسجين الذائب وثاني أكسيد الكربون. وللفجوة خاصية ذات علاقة مهمة باقتصاد ماء لخلية وكذلك توفر موقعاً لعملية فصل الماء والنواتج النهائية للتحولات الغذائية.

يتباين حجم لمختلف الخلايا الحية وأنواع النباتات إلى حد كبير. حيث يكون طول خلايا الأنسجة الوسيطة وخلايا قشرة الجذر بحوالي 20 – 100 ميكرومتر. قطر كل من البلاستيدات الخضراء والبلاستيدات الأخرى في مدى 8 ميكرومتر، بينما يكون قطر الميتوكوندريا بحوالي 1 ميكرومتر وقطر الرايبوسومات 23 نانومتر (1ميكرون – 10^3 نانومتر) ومقارنة بحجم هذه العضيات يظهر أن حجم المواد ذات الوزن الجزيئي المنخفض يكون أصغر بكثير. وقطر جزيء السكروز هو 1 نانومتر والجلوكوز يكون 0.6 نانومتر والأيونات المعدنية المتميأة تكون أقطارها في معدل 0.5 – 1.0 نانومتر. وأعطيت هذه الأرقام لتشير ببساطة بأن حجم الأيونات غير العضوية (المعدنية) الدقيق بمقارنة مع عضيات الخلية المختلفة.

وعضيات الخلية مثل النواة والبلاستيدات الخضراء والبلاستيدات الأخرى والميتوكندريا وكذلك الفجوة العصارية كلها محاطة بالأغشية التي هي حواجز فعالة للمواد الذائبة في الماء. والتي تقسم الخلية إلى أجزاء مستقلة. ويعتبر التقسيم إلى أجزاء مستقلة Compartmentalize ضروري لتفصيل الوظائف الاعتيادية لخلية، حيث تحدث عمليات

كيموحيوية مميزة واضحة بداخل العضيات المختلفة (Oak and Bidwell 1970). إن فهم آلية الانتقال التي بموجبها تنتقل المواد العضوية وغير العضوية (المعدنية) بين الخلايا المقسمة يعتبر ذا أهمية كبيرة. وفي هذا السياق يجب الأخذ في الاعتبار أيضاً انتقال المغذيات من الوسط الخارجي (محلول التربة) إلى سيتوبلازم الخلية والغشاء الذي يكون حاجزاً ويفصل الخلية عن الوسط الخارجي هو الغشاء البلازماليما. هذا الغشاء وليس جدار الخلية هو الذي يمثل الحاجز الفعال لامتصاص كل الأيونات والجزيئات الذائبة في الوسط الخارجي. وعليه فإن عملية الامتصاص الأيوني مهمة ويجب أن تؤخذ في الاعتبار على أساس انتقال الأيون خلال الغشاء البلازمي أو بصورة أوسع ظاهرة الانتقال الأيوني خلال الأغشية البيولوجية.

2.1.3 الأغشية

لفهم أعمق لعملية الامتصاص الأيوني تكون هناك حاجة لمعرفة تركيب وخواص الأغشية الحيوية. وقد نشرت عدد من المراجع المفيدة عن هذا الموضوع بوساطة Lodish and Rothmon 1979, Walker 1976, Clarkson 1977, Branton and Dreamer 1972. تتركب الأغشية الحيوية من نسب متساوية من جزيئات بروتين ودهون وسمكها يكون حوالي 7–10 نانومتر. منذ عقود فإن تركيب البروتين الدهني الشطائري (السندوتشي) الذي أقترحه (Danielli and Davson 1985) أعتبر هو التركيب النموذجي للغشاء الحيوي. ويتكون التركيب النموذجي من طبقتين من الجزيئات الدهنية التي تنتظم بها النهايات غير المحبة للماء (Hydrophobic) من الأحماض الدهنية المنسقة واحدة مقابل الأخرى. وكلا الحدان الخراجان للطبقة الدهنية نغطيهما طبقة بروتين. وكان هناك برهان على أن هذا النوع

من التركيب يمكن أن يعمل حاجزاً، لأن طبقة البروتين تزيد من الصلابة، وكما يمنع الجزء الدهني اختراق جزيئات مجموعة المحبة للماء (Hydrophilic) التي تشمل الأيونات غير العضوية (المعدنية) للغشاء الحيوي.

وأصبح الآن مقبولاً بأن تركيب الغشاء الحيوي هو أكثر تعقيداً من الوصف الذي وضح مسبقاً. وطبقاً لما جاء به Singer, 1972 فإن الأغشية الحيوية تتكون من جزيئات amphiphilic. ويدل مصطلح amphiphilic على وجود كل من الهيدروفلك Hydrophilic (مجاميع OH ومجاميع NH_2 ومجاميع الفوسفات ومجاميع الكاربوكسيل) ومناطق الهيدروفليك Hydrophobic (سلسلة الهيدروكربون) والغشاء، حيث يمكن أن ترتبط الدهون والبروتينات بروابط الكهروستاتيكية وروابط هيدروجينية وأخرى هيدروفوبك Hydrophobic . وتتركب الأغشية الحيوية أساساً من طبقة دهنية مزدوجة مؤلفة من دهون أمفليفلك amphiphilic lipids. والمثال النموذجي لمثل هذه الدهون phosphatidyl ethanolamine. كما هو موضح في الشكل 2.3 فإن لهذا الجزيء نهائيات من الدهنيات (السلسلة الهيدركربونية) وراس هيدروفولك Hydrophilic واحد، ومعقد امينو الفوسفات phosphate amino. فهذا كذلك الجزء المحب للماء (هيدروفولك) يحمل شحنات موجبة وشحنات سالبة تحت ظروف فسيولوجية pH وتوضح نتائج التجارب الحديثة أن محور Glycerol moiety يقع عمودياً على مستوى الغشاء وأن سلسلة الحامض الدهني عند ذرة الكربون الثانية (C-2) يكون موضعها عند سطح الطور الدهني (Lipid) للغشاء (Seeling, 1980).

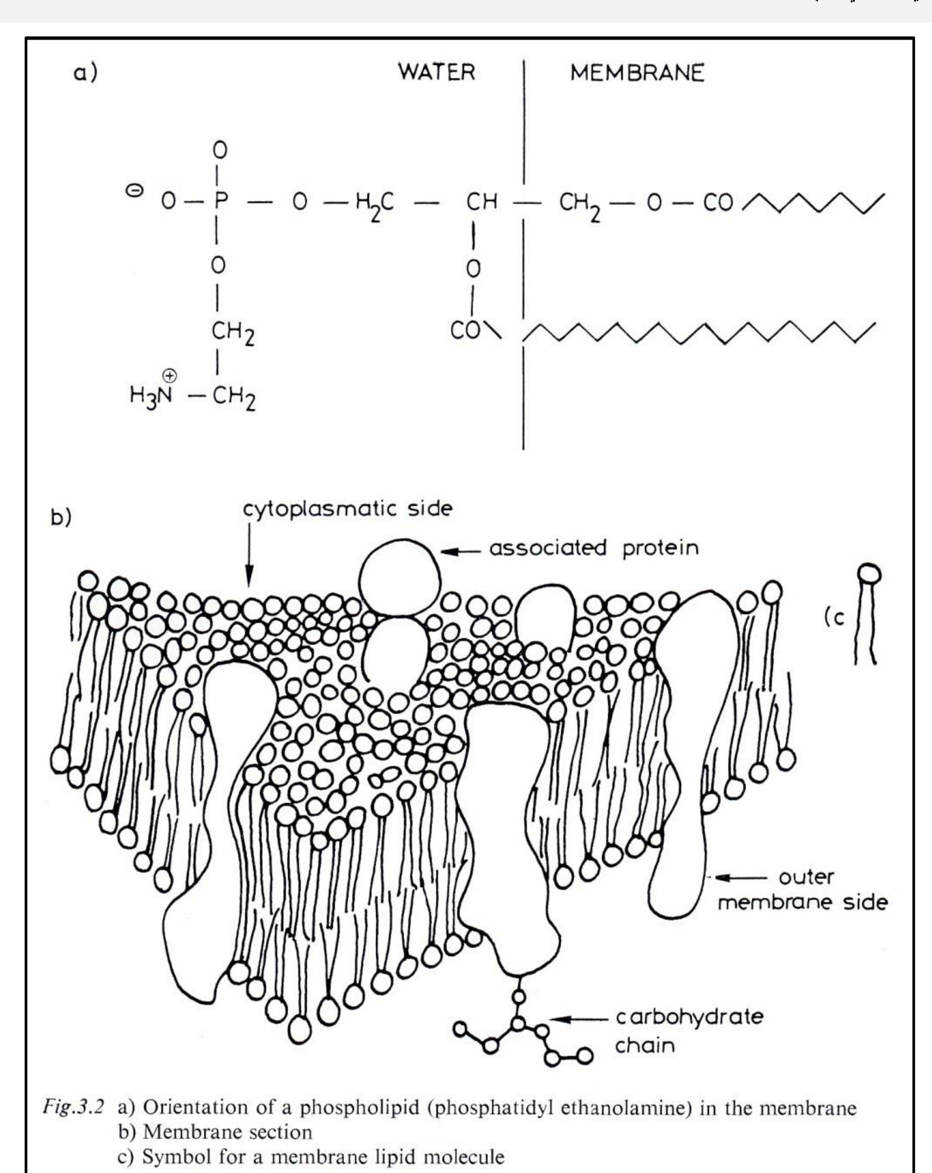


Fig.3.2 a) Orientation of a phospholipid (phosphatidyl ethanolamine) in the membrane
b) Membrane section
c) Symbol for a membrane lipid molecule

ويبرز موقع ذرة الكربون الثالثة (C - 3) خارج الغشاء إلى الطور المائي (الشكل 32. أ). وقد

تربط مجموعة الفوسفات السالبة الكاتيونات التي محتمل أن تؤثر على تكوين (بنية) ونفاذية الغشاء. وتتركب الطبقة للدهن الأحادية على طبقات امفيفلك amphiphilic المنسقة بطريقة أن مقدمات (الرؤوس) تكون مستوي. وفي الطبقة الثنائية تنسيق توجهّ نهاياتها بعضها البعض (الشكل 2.3 ب) مع كل طبقة ليبيدية أحادية (فردية) تمثل سائلاً ذا بعدين. والطبقتان المزدوجتان bilayer غير متماثلتين وهذا يعني وجود أنواع مختلفة من الليبديات في الطبقات العليا والسفلى. والبروتينات تكون مطمورة بداخل الطبقة الليبيدية المزدوجة الثنائية (Lodish and Rothman 1979). والتي تبرز من كلا جانبي الغشاء. والبروتين داخل الغشاء يكون ذا طبيعة غير محبة للماء Hydrophobic بينما البروتين النصفي Protein moieties الذي يبرز إلى خارج الغشاء يكون محباً للماء Hydrophilic والبروتينات المتجهة نحو السيتوبلازم تربط عموماً بروتينات إضافية (بروتينات مصاحبة). أما البروتينات التي تبرز إلى خارج الخلية تكون عادة مصاحبة للكربوهيدرات (أنظر الشكل 2.3 ب).

إن الليبيدات في الأغشية الحيوية لها خاصية رئيسية وهي منع انتشار (نفاذ) الأملاح المحبة للماء Hydrophilic، ومثال نفاذ الأيونات غير العضوية (المعدنية) والأحماض الأمينية والسكريات عبر الغشاء. وليس للبروتينات تلك الخاصية التركيبية (البنائية) فقط، ولكن كثيراً منها هي أنزيمات تكون مسؤولة عن تفاعلات الكيموحيوية معينة والبروتينات التي تمتد خلال الغشاء تكوّن قنوات بروتينية من جانب إلى جانب آخر في الغشاء. والأيونات المعدنية (غير العضوية) (Walker, 1976). وفي الأغشية الحيوية (البيولوجية) فإن إنتظاماً وتتابعاً خاصاً لبروتينات الأنزيم يكون مهماً في عمليات فسيولوجية مهمة مثل تمثيل الضوئي

والتنفس. ويحتوي غشاء الكلوروبلاست الداخلي (غشاء Thylakoid) على أكثر من 40 بروتيناً مختلفاً. وبالإضافة إلى جزيئات الكلوروفل الحر فقد عزلت أيضاً خمسة أنواع من معقدات بروتين الكلوروفل (Miller, 1979) (أنظر إلى فقرة 2.2.12) تم تتبع جزيئ بروتين كبير إلى حد ما، ويعتقد بأنه أنزيم لـ Atpase، كما نوقشت في الجزء التالي بأنه أنزيم الـ Atpase. ، كما نوقشت في الجزء التالي بأنه أنزيم Atpase هو الذي يلعب دوراً حيوياً في عمليات النقل في الغشاء. ويجب تأكيد أن للأغشية الحيوية معدّل تحول عالي. وفترة نصف عمر فسفور يعدل الكولين Phosphatidyl Choline حوالي 14 ساعة وفترة نصف حياة الغشاء في مدى 2 إلى 384 ساعة (Rensing and Cornelius 1980). وإن سيولة (لزوجة) الغشاء تعتمد على درجة الحرارة حيث عند درجة الحرارة المنخفضة يكون تركيبه بللوري، بينما عند درجة الحرارة الأعلى يكون تركيبه بللوري سائل وإن هذه الاختلاف في تركيب تؤثر على نفاذية الغشاء.

إن أهم الليبيدات في الأغشية الحيوية هي الليبيدات الفوسفورية (Phospholipids) والدهون السكرية (Glycolipids) والسيترويدات (Steroids). والليبيدات الأسفنجية sphingo lipids. ولكن مثل هذه الدهون ليست ذات أهمية كبيرة في الأغشية النباتية (Morri, 1975). طبقاً لما جاء به (Van Deenen 1972) بأن نفاذية الأغشية لأيونات والجزيئات غير محبة للماء Hydrophilic تعتمد كثيراً على مركب (مكون) الحامض الدهيني. حيث أن السلسلة الهيدركربونية الطويلة المشبعة (الكربون الكهربائي المائي) تقلل من النفاذية، بينما سلسلة الهيدركربون الطويلة غير المشبعة تجعل تركيب الغشاء مفككاً ولذا تزيد نفاذية

الغشاء، وكلما ازداد جزء التسيترويدات (Steroids) فإن نفاذية الأغشية تقل بشكل ملحوظ ومجاميع الفوسفات للبيدات الفوسفورية ربما ترتبط مع مجاميع NH_3^+ للبروتينات بوساطة القوى الكهروستاتيكية (Electrostatic Forces) بالإضافة لذلك يمكن أن ترتبط مجموعة الفوسفات بمجموعة الكربوكسيل للبروتينات بوساطة Ca^{2+} كما هو موضح أدناه.

$H_2C - O - CO$

$HC - O - CO$

$- CH_2 - COO^{\ominus} - Ca^{2+} - O^{\ominus} - P(=O)(-O-R) - O - CH_2$

Protein

Phospholipid

وفي الوسط الحامضي يستبدل Ca^{2+} بالهيدروجين H^+ لذا تزداد شدة نفاذية الأغشية بتكسر الرابطة، ويكون هذا التأثير مهماً للأغشية النباتية والتي وضحت بتفاصيل أكثر في (7.1.3).

ولفهم الموضوع القادم الذي يتعلق بالامتصاص والانتقال الأيوني يجب أن تذكر حقيقة بأن الأغشية الحيوية ليست غبلا منفذة تماماً، بل تسمح بانتشار الأيونات والجزيئات المحبة للماء Hydrophilic ودرجة نفاذية تعتمد على المكونات التي تتركب منها الأغشية. بالإضافة إلى ذلك فإن الأنزيمات الموجودة في الأغشية الحيوية ربما تتدخل بصورة مباشرة أو غير مباشرة في إنتقال الأيونات والجزيئات عبر الغشاء.

3.1.3 الامتصاص الأيوني والأيضي (التحول الغذائي)

قد أجرى Hoagland ومساعدوه التجارب التي كانت نتائجها ذات أهمية كبيرة في كل أبحاث الادمصاص الأيوني بالنبات (Hoagland, 1948). من البحوث التي أجريت على طحلب مياه العذبه هو *Nitella* وطحلب ماء البحر هو *Valonia* وقد وجد أن التركيز الأيوني في الفجوة العصارية لهذين الطحلبين لا يتطابقان مع التركيز الوسط الغذائي الخاصة بكل منهما. وفي فجوة Nitella وتركزت عدة أنواع من الأيونات وخاصةً K^+ و CL^- وكانت بدرجة مرتفعة بوضوح، وهذا نفسه كان صحيحاً وكذلك بالنسبة لطحلب *Valonia*، باستثناء Na^+ حيث كان تركيزه في ماء بحر أعلى من تركيزه في الفجوة العصارية (أنظر الشكل 3.3).

ومن هذه الاكتشافات يمكن وضع الاستنتاجات المهمة وهي:

1. يكون النبات قادراً على امتصاص الأيونات بانتقائية (باختيارية) ولذا فأن البوتاسيوم K^+ الذي يكون تركيزه منخفضاً بالنسبة لكل الكاتيونات في ماء البركة فهو يتراكم إلى حدٍ كبير في الفجوة العصارية للطحلب *Nitella*. ومن ناحية أخرى فإن تركيز الصوديوم Na^+ في ماء البحر. وهذه النتائج تساند الفكرة القائلة أن الخلايا النباتية تستطيع أن تمتص أنواعاً معينة من الأيونات من الوسط الذي تعيش فيه وتنقلها إلى داخل الخلية، بينما تستثنى من الخلايا أنواعاً أخرى من الأيونات وتسمى هذه الظاهرة بالامتصاص الانتقائي للأيون.

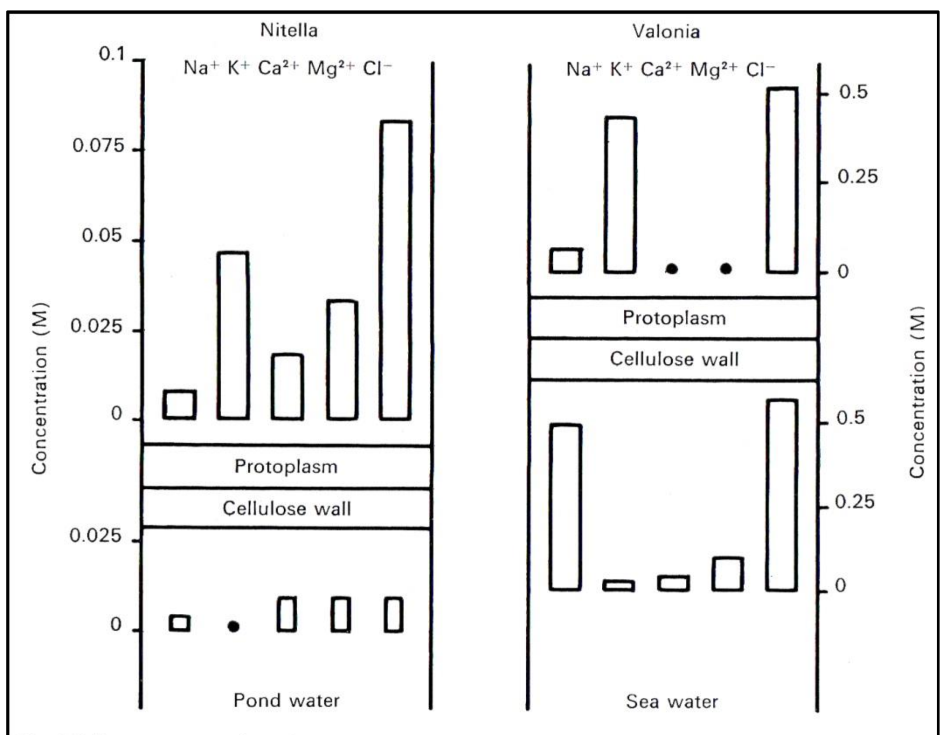


Fig.3.3 Ion concentrations in the vacuole of *Nitella* and *Valonia* in relation to the ion concentrations in outer medium (after HOAGLAND [1948]).

2. الاستنتاج الرئيسي الآخر هو حقيقة أن العديد من تراكيز أنواع الأيونات في الفجوة العصارية تكون أعلى من تراكيزها في الوسط الخارجي، وهذا يدل على أن تراكم الأيونات يحصل ضد التدرج في تركيزها.

3. النقطة المهمة الأخرى الواجب أخذها في الاعتبار من هذه النتائج هو أن عملية الامتصاص نفسها تحتاج إلى الطاقة التي تولَّد بوساطة أيض الخلية.

إن العلاقة بين الأيض وامتصاص الأيون غير معروفه بالكامل، على الرغم من أن

امتصاص الأيون له صلة وثيقة بالتنفس وهذا معروف به من سنوات كثيرة. وقد وضعت الطريقة التي يمكن بها فهم هذه العلاقة وضعها (1932) Lundegardh. والأساس الرئيسي لهذا المفهوم ربط الانتقال الأيوني بالسريان الالكيتروني في سلسلة عملية التنفس. وإن فكرة Lundegardh الخارقة وتجارية قد أسهمت كثيراً في فهمنا الحالي للامتصاص الأيوني. لكن وبصورة عامة أصبح الآن مقبولاً أن السايتوكروسومات Cytochromes لا تلعب دوراً في عملية الامتصاص الأيوني، حيث أنها لا توجد في غشاء البلازما ولاي تنوبلاست (غشاء الفجوة العصارية للخلية).

والتنفس في الكائنات الهوائية تكون له علاقة مباشرة مع الامتصاص الأيوني والشكل 4.3 من نتائج بحث (Hopkins 1956) يوضح أن إمداداً بالأكسجين O_2 ضروري لامتصاص الفوسفور بجذور نبات الشعير. وقد وجد نفس الشيء للمغذيات النباتية الأخرى. وجد أيضاً أن عملية امتصاص المغذيات زاد في آن واحد بزيادة محتوى الجذر من الكربوهيدرات، حيث أن الكربوهيدرات تعمل كمصدر للطاقة الضرورية للامتصاص الأيوني أثناء عملية التنفس للفوسفور يكون منخفض كثيراً (2 – 3 %).

إن الوظيفة الرئيسية للتنفس هو بناء (ATP) الأدنيوزين ثلاثي الفوسفات من ADP الادنيوزين ثنائي الفوسفات والفوسفور المعدني (غير العضوي) وجميع العمليات البيولوجية التي تحتاج إلى الطاقة والتي تضم تكوين الجزيئات وامتصاص وانتقال لبعض أنواع الأيونات تعتمد على الامداد ب(ATP) والمركبات المشابه ويتركب ATP على أدينين adenine (القاعدة – N) والريبوز ribose سكر خماسي (بنتوز Pentose) وثلاثة مجاميع فوسفاتية.

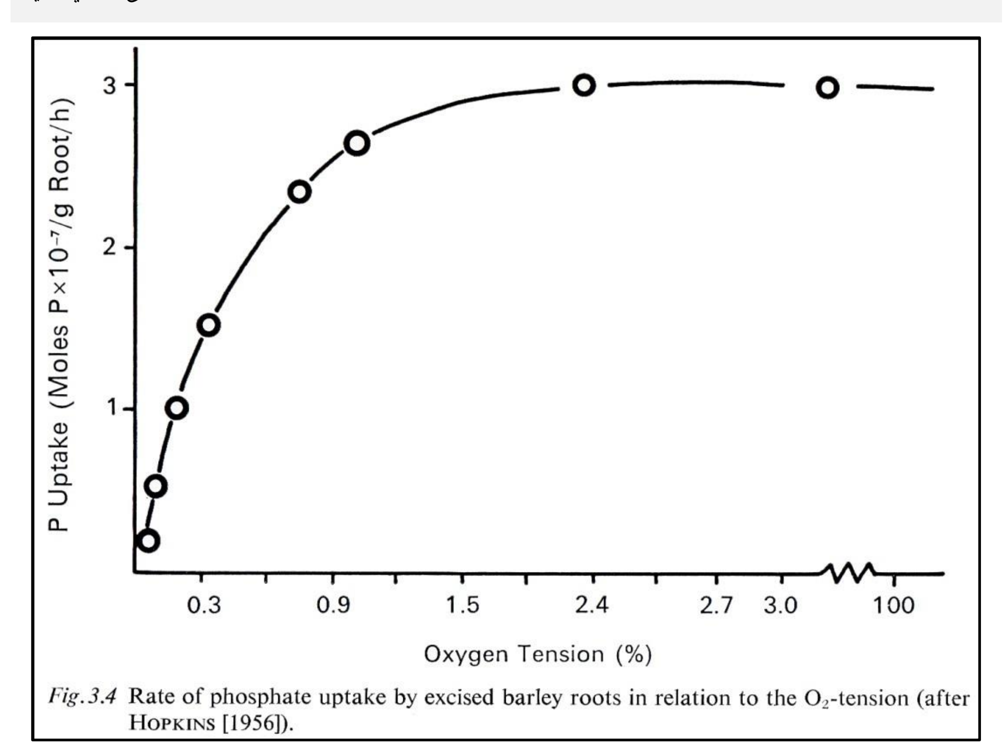


Fig.3.4 Rate of phosphate uptake by excised barley roots in relation to the O_2-tension (after HOPKINS [1956]).

وترتبط مجاميع الفوسفات بعضها مع البعض الآخر بوساطة روابط غنية بالطاقة التي يشار إليها بالرمز (~) وهي ذات طاقة مرتفعة تنطلق أثناء الATP 32 لكيلوجول Kj لكل مول.

يتم الـ ATP أثناء عملية التنفس فحسب (عملية الفسفرة التأكسدية) بل يتم أيضاً في جليكوليتيك glycolytic (عملية الفسفرة اللاهوائية) وكذلك في عملية البناء الضوئي (أنظر 3.2.3).

وكما حدد أعلاه فإن الـ ATP تزود عمليات الامتصاص الأيوني بالطاقة، لذا يمنع تكوين ATP بوساطة المثبطات أو فواصل المواد مثل CO و CN و dinitrophenol – 2,4

(DNP) أو الزرنيخات (arsenate) فإن هذا يؤدي أيضاً تثبيط الامتصاص الأيوني. وفي الجذور، فإن التنفس هو المصدر الرئيسي الذي يزود الـ ATP ولكن تكون الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) في أنسجة النبات الخضراء (أنظر 23.3) وهي أيضاً تزود الـATP لآلية امتصاص الأيوني التي تعتمد على الطاقة. ولهذا السبب فإن الضوء يستطيع

NH_2

N-base

$HO - P \sim O - P \sim O - P - O - CH_2$

Ribose

$ATP \rightarrow ADP + P_i + 32\ kJ$

ADP = Adenosine diphosphate

P_i = inorganic phosphate

مباشرة تشجيع إمتصاص الأيونات عن طريق الأنسجة الفعّالة في البناء الضوئي. وهذه الحالة عرضها عديد من المؤلفين (1970) ,Nobel و (1967) Jeschke. وإن الآلية الدقيقة التي بوساطتها يُسر بها ATP أو يقود عمليات الامتصاص الأيوني، وخاصة أنتقال الأيوني عبر الأغشية الحيوية غير واضحة بالكامل. ودلت الاكتشافات الحديثة على أن الامتصاص

الأيوني مرتبط بنشاط أنزيم Atpase. وهو أنزيم رابط للغشاء، وهو الذي يفصل ATP إلى Pi+ADP ولهذا فهو يعطي الطاقة اللازمة لعملية الامتصاص. وإن أساس هذه الآلية تم تناقلها أدناه. حيث هناك حالياً اتجاهان مستقلان رئيسيان في الاعتقاد المتعلق بامتصاص الأيون المعتمد على عملية الأيض. الأتجاه الأول يرى أن الامتصاص على أساس الأنتقال عن طريق الحامل، وتعرف بنظرية الحامل. والأتجاه الآخر يؤكد على أهمية ضخ الأيون عبر الغشاء، وكل من هاتين المفهومين قد أُخذ في الأعتبار أدناه.

4.1.3 نظرية الحامل

افترض بأن الأغشية الحيوية تحتوي على جزيئات معينة تكون لها القدرة على جمل الأيونات عبر الغشاء، ومثل هذه الجزيئات تسمى اصطلاحاً بالحوامل. ويعتقد بأنها هي التي تسيطر على مواقع خاصة لنوع معين من الأيون. وبهذا يُمكِّن الأنتقال الأيوني الأنتقائي (الأختياري) خلال الغشاء. إن نشؤ هذه الحوامل بصورة مباشرة أو غير مباشرة يحتاج إلى ATP. والشكل 5.3 يبين المخطط الأفتراضي وفيه يكون الحامل مرتبط بالفوسفور أي يصبح مركباً فعالاً نشطاً (Phosphorylated compound) (مركباً مفسفراً)، وبهذا أقترح أن المركب المفسفر لهذا الحامل قادراً على الانتشار في الغشاء.

وعند الحد الخارجي للغشاء يتقابل هذا الحامل بنوع الأيون المعين الذي تكون له صلة أو ميل بذلك الحامل ويرتبط الأيون بالحامل وبهذا يتكون معقد الحامل الأيون، ويتحرك هذا المعقد القابل للانتشار عبر الغشاء إلى موضع أنزيم الفوسفتيز (Phosphatase) عند الحد الداخلي للغشاء. حيث يفصل أنزيم الفوسفتيز مجموعة الفوسفات من المعقد. وبهذه

العملية يعتقد أن الحامل بفقد صلته بالأيون الذي ينطلق إلى الوسط المجاور السيتوبلازم مثلاً.

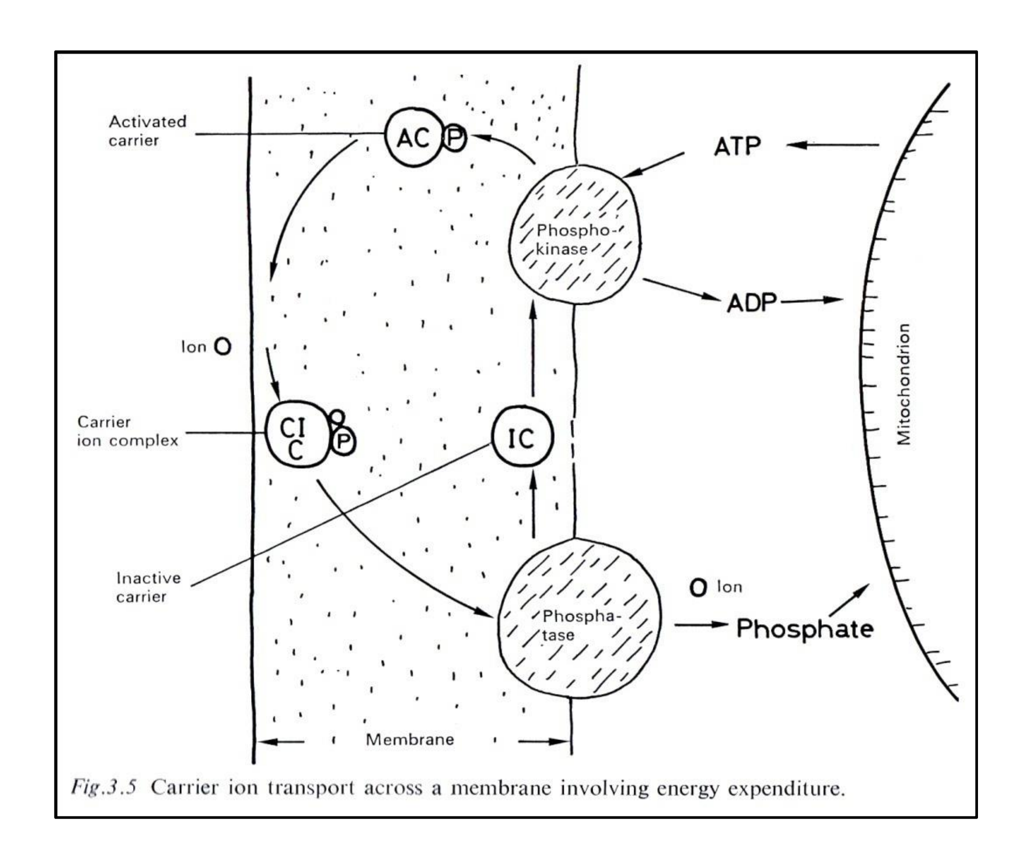


Fig.3.5 Carrier ion transport across a membrane involving energy expenditure.

إن نشوء انتقائية (أختيارية) الحامل تحتاج إلى ATP وحصلت هذه العملية بسبب أنزيم كانيز حامل الـATP (Carrier ATP Kinase)، الذي يوجد عند حدود الداخلي للغشاء وبعد ذلك ينتشر مركب الحامل المفسفر متراجعاً إلى حدود الخارجي للغشاء ملتقطاً أيون آخر، وهكذا تعاد دورة الأمتصاص. ATP المحتاج إليه للعملية يمكن أن يكون مصدره من تنفس جذور النبات ومن الفسفرة الضوئية. ومن الجلكزة Glycolysis في الكائنات

الحية اللاهوائية.

ويمكن وصف دورة الأمتصاص بالكامل في المعادلات التالي:

$$\text{Car} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Kinase}} \text{Car}\,ⓟ + \text{ADP}$$

$$\text{Car}\,ⓟ + \text{Ion} \longrightarrow \text{Car}\,ⓟ - \text{Ion}$$

$$\text{Car}\,ⓟ - \text{Ion} \xrightarrow{\text{Phosphatase}} \text{Car} + \text{P}_i + \text{Ion}$$

$$\text{Net: Ion} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{Transport}]{} \text{Ion} + \text{ADP} + \text{P}_i$$

إن محصلة هذه المعادلات آلاتية تبين أن انتقال أيون واحد عبر الغشاء يحتاج إلى جزيئة واحد ATP ومن وجهة نظر الطاقة فإن احتياج هذه الطاقة يبدو منطقياً.وإذا فرض آن امتصاص أيون واحد يحتاج إلى جزئي واحد من ATP، فإن ATP الذي يحتاج إليه لامتصاص البوتاسيوم النبات،يكون أقل من 1% من كمية الـ ATP المحتاج إليها لتمثيل ثاني أكسيد الكربون Co_2.

وإن مفهوم الإنتقال بالكامل كما هو موضح في شكل 5.3 مع فكرة عالية افتراضية جداً لكنها تغطي حقائق تجريبية رئيسية عن تطبيقا الامتصاص الأيوني واستنتاجاته. وهذه الحقائق مع انتقال الأيون يمكن أن يحدث عكس التدريج في التركيز. وهل حقاً أن عملية الامتصاص تتضمن أنزيم فوسفاتير وأنزيم كايتيز أم لا، هذا سؤال مطروح ولكن يوجد دليل واضح على أن العمليات الأنزيمية تشترك في امتصاص الأيون.

إن الطور الدهني في الغشاء هو الحاجز للجزيئات المحبة للماء Hydrophilic ولهذا

يبدو من المحتمل أن يكون الجزيئات الناقلة هي جزيئات دهنية. وبما أن الأغشية الحيوية تنفذ الجزيئات الدهنية، ومن ثم حاملاً (ناقلاً) هذا النوع يكون قادراً على الانتشار في الغشاء. وأن طبيعة الناقل مازالت موضوع نقاش. ومن الممكن أن تكون مشتقات من الحامض فسفوتتدك Phosphatidic أو البيبتيدات ذات الصفة الدهنية (Muller and Rudin,1967 Dobler et al., 1969, Kilbourn et al., 1967). وضحت أن هناك وجوداً للجزئيات العضوية،ذات انتقالية (اختيارية) العالية في الأيونات غير العضوية (المعدنية).

والمضادات الحيوية مثل فيلنومايسين Valinomycin ونونكتين Nonactin وإيناتسين Enniatin(B) تستطيع أحداث نقل أنتقائي للايون خلال الأغشية الحيوية (Mueller and Rudin 1967). وأن معدل انتقال البوتاسيوم K^+ تم تحفيزة بالفيلنومايسين وكمثال فهو يكون حوالي 300مرة من معدل تحفيزة للصوديوم Na^+.وهذا المثال يوضح بجلاء المقدرة العالية جداً للفاليسونيسين في التفريق بين هذين الإيوانين المتقاربين (أي البوتاسيوم والصوديوم). والنونكتسين والآناتيسن هي أيضاً على درجة انتقالية عالية للبوتاسيوم K^+.وطبقاً (Dobler et al 1969) فإن معقد أناتيسين K ($enniactin-K^+$) هو قرص مشحون ذو جزيء محب للدهن (Lipophilic) خارجي. ويكون موضع البوتاسيوم K عند مركز القرص.ويتصف معقد نناكستين K^+ ($Nanaactin-K^+$) بأنه على شكل كرة جزؤها الخارجي محب للدهن (Lipophic) الناتج من مجموعات المثيل (الشكل 6.3) وموضع البوتاسيوم في مركز الكرة يكون محاطاً بمثاني ذرات أكسجين. وكلا المعقدات أناتيسين K($enniactin-K^+$) ونانكسين K($nonactin-K^+$) يحتويان على الصفتين المهمتين اللازمة

للانتقال الجزئي.

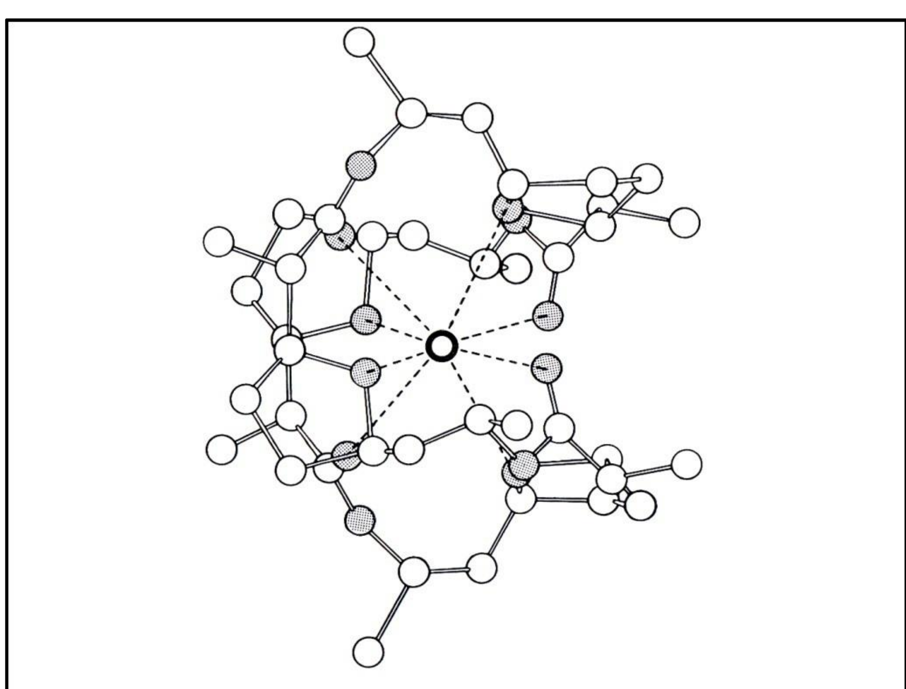


Fig. 3.6 The nonactin-K^+ complex. Carbon atoms are represented by open circles, oxygen by shaded circles and K^+ by the heavy circle (after KILBOURN *et al.* [1967]).

وهما موقع ارتباط محدد وخواص الليبوفنليك Lipophilic (جزء محب للدهن). معقدات الحوامل الأيونية ionophores المتصفين للبوتاسيوم (Hinkle and McCarty,1973).تعتمد خاصيتها هذه على سمك طبقة الماء المحيط بأيون البوتاسيوم للكاتيون، حيث أن جزيئات الماء لغلاف التميوء تستبدل بذرات أكسجين للمعقد العضوي. وربط البوتاسيوم K^+ للماء يكون بأحكام أقل من الصوديوم Na^+، ولهذا السبب يشكل معقداً وبسهولة أكثر مع حامل الأيون (ionephore) وهذا الأختلاف في

السلوك ينعكس بمعدلات K الأعلى من Na^+ خلال الغشية الحيوية.وقد يحدث نوع أخر من الانتقال عبر الغشاء بوساطة القنوات التي تكونت عن طريق الحوامل الايونيهIonophore ويكون جرمسيدسين (Gramicidin A) فراغ في الغشاء المتكون من جزئين حلزونيـين (Helical).وهذه نفاذية القناة للكاتيونات الأحادية التكافؤ تكون عالية التمييز ما بين Na^+ وK^+ يكون صعباً. وإذا ما كانت مركبات المضادات الحيوية أو المواد المشابهة لها تعمل كحوامل في جسم النبات الحي (Invivo) تحت الظروف الحقلية حسب الذكور أعلاه هذا لا يزال غير معروف.

5.1.3 الضخ الأيوني وأنزيم الادنيوزسين ثلاثي الفوسفات (ATP ase)

افترضت ميكانيكية الضخ الأيوني لتفسير اعتماد انتقال الأيون على الطاقة خلال الأغشية الحيوانية. وتحتوي الخلايا الحيوانية في الغالب على تركيز مرتفع من C1 وK^+ بينما يكون تركيز المحلول الخارجي مرتفعاً في Na^+. والمثال النموذجي لهذا النوع من التوزيع الأيوني يكون في الدم. وتحتوي كرات الدم الحمراء (Erythrocysts) تركيزات عالية من K^+ ومنخفضة من Na^+ والبوتاسيوم K^+ يعزى لنشاط أنزيم ATP ase. وأنزيم الادنيوزين ثلاثي الفوسفات (ATP ase) هي مجموعة من الانزيمات التي لها القدرة على فصل ATP إلى ADP والفوسفور غير العضوي (المعدني) وبذلك تتحرر الطاقة لتستعمل في نقل الأيون. ويعتقد أن مضخة الأيون في الخلايا الحيوانية تكون مرتبطة هي بالبروتين يتركب من ATP ase وجلسروبروتين glycoprotein. وافتراض بأن التحلل المائي الـ ATP ينتج عنه البروتين الذي يسبب في انتقال الكاتيون عبر الغشاء.

إن الأنزيمات ATP ase المربوطة بالغشاء في البكتيريا والفطريات والنباتات الراقية التي تختلف عن الأنزيمات ATP ase الحيوانية، ومن غير الممكن أن يكون تغير شكل البروتين هو الميكانيكية التي بها تنتقل المذيبات عبر الأغشية النباتية. وبصفة عامة أصح الآن مقبولاً آن أنزيم ATP ase المربوط بالغشاء في خلايا النبات في البلازمالما Plasmalemma هو المسؤول عن الشحنة السالبة للخلية.

مخطط افتراضي يوضح الميكانيكية المحتملة لأنزيم ATP ase مبين بالشكل 2.3. يحفز الأنزيم انحدار في الـ pH وذلك يضخ H^+ خارج الخلية. وبهذه العملية تصح الخلية سالبة أكثر وقلوية أكثر مقارنة بالمحيطة الخارجي. والجهد الناشئ يتركب من مكون الكيميائي ومكون الكهربائي، التي يمكن توضيحها بالمعادلة آلاتية (Poole,1978)

$$Pmf = \triangle pH + \psi$$

حيث أن

Pmf = القوة المحركة للبروتون أو الانحدار التدريج، الالكتروكيميائي للأيونات عبر الغشاء.

$\triangle pH$= الاختلاف في تركيز H^+ عند جانبي الغشاء (الخارجي والداخلي)

ψ= الفرق في الجهد الكهربائي عبر الغشاء.

والقوة المحركة للبروتون = Pmf وهي القوة التي تنتقل بها البروتونات ضد التدرج الالكتروكيميائي عبر الغشاء. والعملية الانتقال وكل خواص النقل النشط التي سنتطرق أليها لاحقاً بتفصيل أكثر. حيث تستمد الطاقة المحتاجة من ATP، وقد وضح أن مضخة الـH^+ (البروتون) تعتمد مباشرة على الإمداد بـ ATP أي أن الطاقة المطلوبة تأتي من ATP. ولقد

أفترض أن انبعاث أيونات من الهيدروجين ($2H^+$) يستهلك جزئية ATP واحدة. ويحدث ضخ البروتوني على التدريج في الPH عبر الغشاء وتكون على عكس آلة إنتاج الـ ATP في الغشاء الداخلي لميتكوندريا (انظر 3.2.3).وقد وضح أساس فكرة ضخ البروتون في التخطيط الافتراضي في الشكل 7.3.

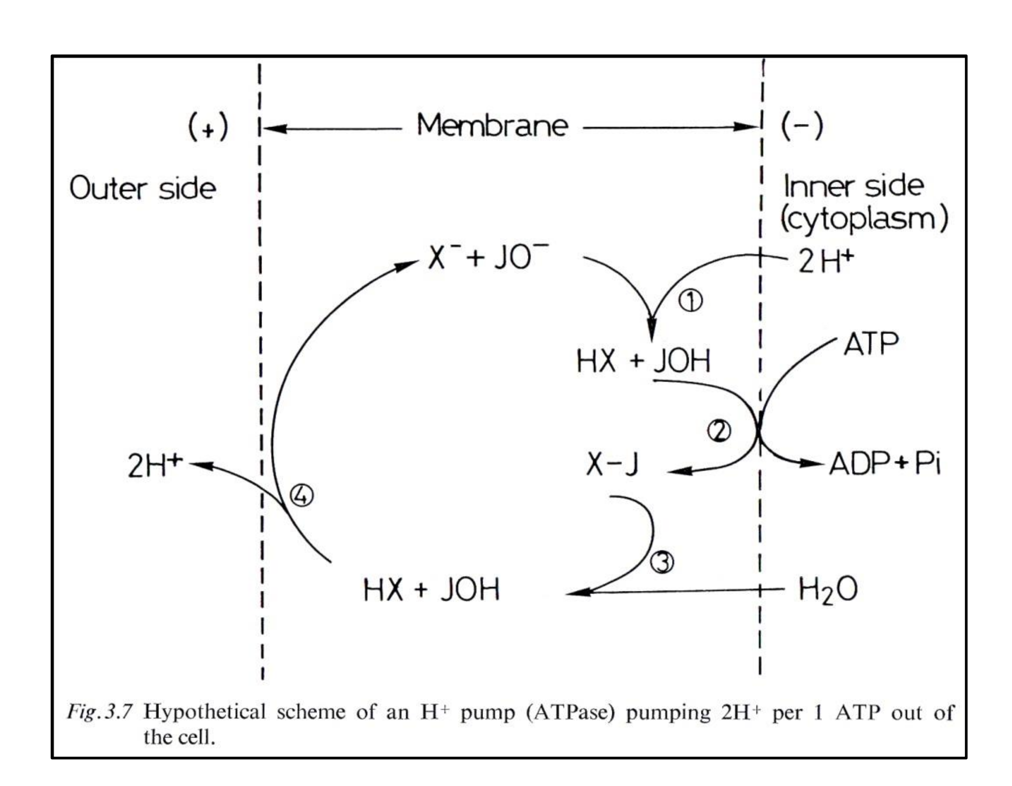


Fig.3.7 Hypothetical scheme of an H^+ pump (ATPase) pumping $2H^+$ per 1 ATP out of the cell.

وقد اقترح Mitchell,1966 أنها ذات صلة بعمليات الفسفرة الكيمو أسموزية (Chemiosomotic phophorylation) وتبين الخطوة الأولى (1) تفاعل جزيئات X^- و JO^- المتحركة في الغشاء الأفتراضي مع أيوني الهيدروجين ($2H^+$) من السيتوبلازم.

وتحفز النواتج HX و JOH على التحليل المائي لل ATP. (تفاعل 2) بواسطة تكوين معقد X-J وهذا المعقد يتحلل مائياً (تفاعل 3) إلى مكونين هما HX و JOH، وبيتم نزع البروتون منهما عند الجانب الخارجي للغشاء (تفاعل 4). لذا فإن X- و Jō يتكون مرة أخرى تستطيع أن تبدأ دورة جديدة. والمحصلة الناتجة من سلسلة التفاعل هي نقل $2H^+$ عبر الغشاء ويصحبه تحلل مائي Hydrolysis لجزئية ATP واحدة. وبهذه العملية يتعاظم إنشاء الجهد الالكتروكيميائي عبر الغشاء، ويكون الجانب الداخلي للغشاء مشحوناً بشحنة سالبة أكثر مقارنة بغشاء الخارجي. وتنجذب الكاتيونات التي في الجانب الخارجي للغشاء إلى الخلية، ودخول هذه الكاتيونات إلى السيتوبلازم يزيل الاستقطاب لجهد الغشاء. وهذا النوع من الامتصاص الكاتيوني يعتمد كثيراً على نفاذية الغشاء، التي تختلف بوضوح بأختلاف أنواع الكاتيون . علماً بأن حوامل الأيون (ionophore) مثل فلينوماسين من ممكن أن تسمح بالأنتشار الانتقائي (الأختياري) للكاتيونات (أنظر 9.1.3) وعمل نظام أنزيم Atpase المصاحبة كحوامل الأيون (ionophore) يمكن أن تحفز امتصاص كاتيوني أنتقائي (اختياري) ويعرف هذا النوع من الانتشار الانتقائي أيضاً بالانتشار الميسر (Facilitated diffusion) وما أكتشفه كل من Ratner and Jacoby 1976 بالتجربة يتماشى مع الفكرة القائلة بأن معدل العالي لامتصاص البوتاسيوم بخلايا النبات يمكن أن يوضح على أعتبار الأنزيم Atpase قاد الانتشار المسير للبوتاسيوم K+. ومثل هذه الآلية للامتصاص هي عملية أسفل المجرى (Down hill).

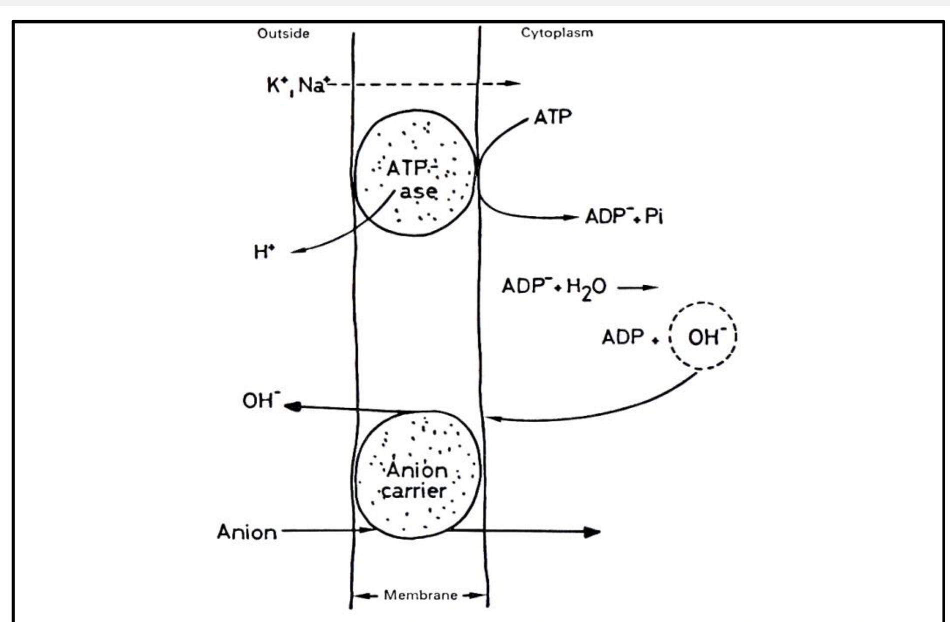


Fig.3.8 Model of an ATPase driven cation pump coupled with an anion carrier (modified after HODGES [1973]).

حيث يوجد برهان يؤكد أن امتصاص البوتاسيوم K^+ هي عملية نشطة (فعالة) أعلى المجرى (Uphill) وهذا الموضوع سوف يناقش في القسم اللاحق.

ولا يمكن توضيح الامتصاص الأنيوني بأنه عملية أسفل المجرى (Down hill) وفي هذه الحالة يجب أن تتحرك الشحنة السالبة إلى خلية سالبة الشحنة. ويعتقد أن أنيونات الوسط الخارجي يمكن امتصاصها بالتبادل بـ OH^-. أو HCO_3. واقترح Hodges, 1975 نموذجاً أفتراضياً، حيث أخذ في الحسبان كل من الامتصاص (Absorption) الكاتيوني والأيوني بخلايا النبات. ويوضح الشكل 8.3 النموذج الذي يصف أنزيم ATP ase والناقل أو الحامل الأنيوني. حيث يجعل أنزيم ATP ase السيتوبلازم أن يكون أكثر قلوية، وبالتالي بأن

الهيدروكسيل OH^- في السيتوبلازم (OH^- Cytoplasmic) يقود الحامل الأيوني. ولذا فإن أيونات هيدروكسيل يتم أفرازها وتمتص الخلية الأنيونات مثل SO_4^-. إذا كانت أنزيمات Atpase مشتركة في عملية الامتصاص بشكل مباشر يبقى غير واضح تماماً (Poole, 1978).

أيونات الهيدروكسيد المتبقية في السيتوبلازم بعد أنبعاث البروتون ربما تحفز تراكم الأحماض العضوية وخاصة الماليت Malate. هذا عندما يكون امتصاص الكانيون باستبدال البروتونات بمعدّل أسرع من الامتصاص الأنيوني غير العضوي باستبدال OH (أنظر 9.1.3) وبعد ذلك فإن أنيونات الأحماض العضوية المصنعة في السيتوبلازم يمكن أن تنتقل إلى داخل الفجوة العصارية مصاحبة للامتصاص الأيونات. وفي النباتات النامية يوجد أيضاً مصدر مهم لـ OH^-. ينشأ من أختزال NO_3^- ومن نزع مجموعة الكربوكسيل لايونات الاحماض العضوية أنظر 9.1.3 وبالفعل فإن النباتات التي تزود بالنتروجين على صورة NO_3^- كما هو الحال في الطحالب يزيد امتصاصها الأنيوني عن امتصاص الكاتيوني. وهذا يعني بأن كميات من OH^- أكثر من H^+ تنشأ من التبادل مع الجذور (Kilkby, 1969). وطبقاً لما جاء به Hodges 1973 فإن هذا المصدر الأضافي OH^-، يجب أن تكون له المقدرة على تسير الحامل الأنيوني ويجب أن لا يعتمد على نشاط أنزيم ATP ase.

وإن الأهمية العامة لأنزيم ATP ase في النقل الغشائي تثبته حقيقة أن أنزيمات ATP ase تعمل على النقل الغشائي للسكريات والأحماض الأمينية، الميكانيكية التي بواسطتها يحدث هذا وكما أقترح من Gianquinta, 1977 مبينة في الشكل 9.3 للحاء المحمل

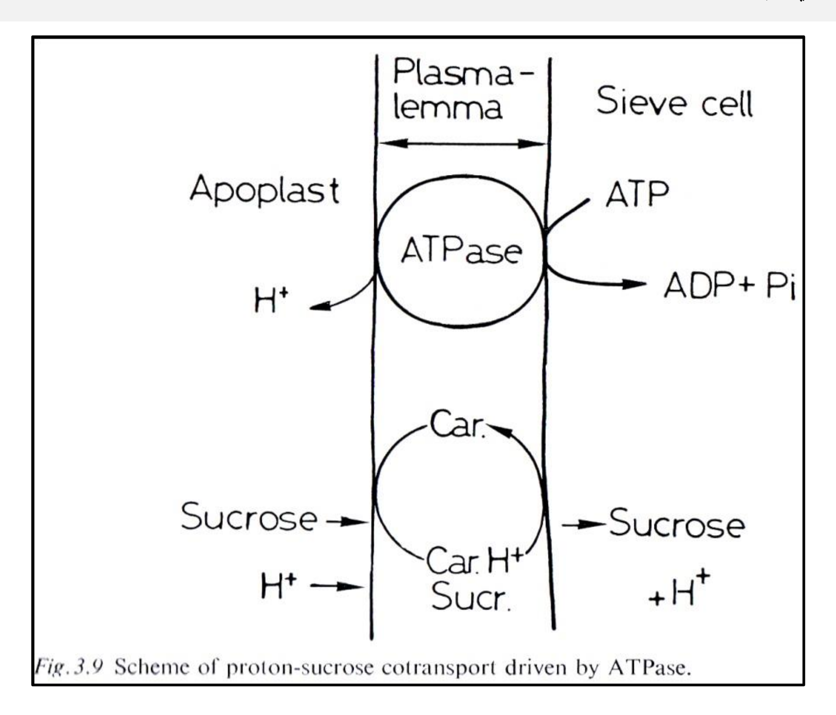


Fig. 3.9 Scheme of proton-sucrose cotransport driven by ATPase.

بالسكروز حيث مضخة H^+ توفر وسطاً حامضياً في الأبوبلاست Apolplast والتي تسمح بعملية إضافة البروتونات كحامل السكروز الأفتراضي وينقل هذا الحامل في صورته البروتونية لسكروز عبر البلازمالما Plasma lemma إلى داخل الخلية وتوضح نتائج Kemer and Tanner, 1974 المتحصل عليها من دراسة طحلب كلوريرا *Chloaella* بان عملية إضافة البروتونات زادت من الصلة ناقل أو حامل السكر بمقدار مائة ضعف تقريباً. والتخطيط الافتراضي المرسوم في الشكل 9.3 رغم نتائج التجارب و Gia-Quinta, 1979 التي وجدت أن السّم الفطري الفيوزكوسنين (fusicoccin) قد حفزت ضخ الـ H^+، وكذلك تراكم السكروز في نسيج نبات البنجر.

واقترح Servaites et al., 1979 في دراسته على امتصاص أحماض الأمينية إلى داخل لحاء نبات فول الصويا بأن الأحماض الأمينية تنتقل أيضاً إلى داخل الخلية بوساطة الحامل الميسير بأنزيم Atapase. ولكن الحامض الأميني يختلف عن حامل السكروز. الأهمية العامة لأنزيم Atpase المربوط بالغشاء لأجل النقل الغشائي يتم تحديده بوساطة الوفرة في أنزيم Atapase في أجزاء الغشاء للنبات كما أورده العديد من مؤلفين (Leonand and Hodges (1973), Fisher et al., (1970), Blake and Hodges (1975), Erdei et al., (1979), Travis and Booz (1979)).

6.1.3 النقل النشط والسلبي (غير النشط)

الأيونات في المحلول تكون عرضة لقوتين فيزيائيتين رئيستين. وتنشأ إحداهما من التدرج (الانحدار) في الجهد الكيميائي والأخرى من التدرج (الانحدار) في الجهد الكهربائي (Dainty 1962) وتتحرك الأيونات إلى أسفل بالتغير الانحدار (التدرج) الكيميائي أي الانتقال من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض والأيونات التي تتحرك بفعل الانحدار في الجهد الكهربائي تنجذب الكاتيونات إلى الجهد الكهربائي السالب، بينما تنجذب الأنيونات إلى الجهد الكهربائي الموجب، لذا فإن حركة الأيونات تعتمد على الفرق في الجهد الكيموكهربائي كما هو موضح أعلاه وتكون الخلايا الحية مشحونة سالباً مقارنةً بالوسط الخارجي. ولهذا السبب فإن مرور الأيونات عبر بلازما أو تونوبلاست (tonoplast) يجب أن ترعى علاقته بالتدرج في الجهد الكهربائي السائد، وأيضاً تدرج التركيز بين المحلول الخارجي (الوسط) والمحلول الداخلي (السيتوبلازم). والانتشار الكاتيوني الميسر Facilitaled Cation

diffusion الذي تم توضيحه مسبقاً هو المثال النموذجي الذي فيه تتحرك الكاتيونات على طول التدرج الكهربائي، وصافي حركة الكاتيونات المتجهة إلى الداخل تصل إلى النهاية بمجرد حصول الأتزان بين القوة الكهربائية وقوة الطاقة الحركية. وقد وضح هذا الاتزان بوساطة معادلة نرنست nernst والحالة البسيطة التي يجب تؤخذ في الاعتبار هو أن محلول KCl يُفصل بغشاء منفذ لكل من الأيونين K^+ و Cl^-. على إفتراض أن الجهد الكهربائي عبر الغشاء هو E، وبذلك يحدث الأتزان لكل من K^+ و Cl^- بمجرد تكون تركيزات هذين الأيونيين في جهتي الغشاء يوافق معادلة نرنست

ويمكن توضيح هذا كالآتي:

$$\psi_i - \psi_o = E = \frac{RT}{z \cdot F} \ln \frac{[K_o^+]}{[K^+_i]} = \frac{RT}{z \cdot F} \ln \frac{[Cl^-_i]}{[Cl_o^-]}$$

حيث أن:

ψi= الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي مثل (السيتوبلازم).

ψo= الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي مثال (المحلول الغذائي).

R= ثابت الغاز.

T= درجة الحرارة المطلقة.

F= ثابت فراداي.

Z = تكافؤ الأيونات.

وإن الرموز F وO تدل على المحلول الداخلي والخارجي على التوالي وتمثل القيم بين الأقواس تركيز، أو بدقة أكثر أنها تدل على نشاطات أنواع الأيونات في المعادلة. ويمكن أن يشتق من هذه المعادلة عندما يكون E< O (الخلية مشحونة بشحنة سالبة) بأن

$[KO^+]$/ $[Ki^+]$ يجب أن يكون أقل من واحد (1>). وهذا يعني تحت شروط الأتزام يحدث تراكم لـK^+ في المحلول الداخلي. وتبعاً لذلك فإن $[Cli^-]$/ $[Clo^-]$ يجب أن يكون 1>. ويعني هذا ضمناً "إلى أن تحت ظروف الأتزان يكون تركيز Cl^- في المحلول الخارجي أعلي من تركيزه في المحلول الداخلي، حيث يبدو أن تركيز الكاتيونات في السيتوبلازم يمكن أن يكون مرتفعاً بأضعاف ما هو عليه والمحلول الخارجي بدون الحاجة إلى نقل الكاتيونات إلى الأعلى uphill transport أي الانتقال ضد الانحدار الكهروكيميائي، فمثلاً إذا ما كان تركيز K^+ في المحلول الداخلي يساوي 10 أضعاف تركيزه في المحلول الخارجي فإن لوغارثم $[Ko^+]/[Ki^+]$=−1. والفرق الجهد الكهربائي المطابق يكون إذن − 58 ملفولت (Dainty,1962). وقيمة 58− ملفولت للخلايا الحية تكون فرقاً صغيراً للجهد الكهربائي. وهذا المثال يظهر بأن الK^+ وأنواع أخري من الكاتيونات أيضاً قد تتراكم بوضوح في الخلية عن طريق القوي الفيزيائية فحسب. ولكن فقط عند يكون التركيز أعلي من ذلك التركيز وفي ظروف الاتزان حيث تحتها الانتقال إلى الأعلى (الانتقال ضد تركيز الانحدار الكهروكيميائي) وبالمعنى الديناميكي الحراري فأن الانتقال ضد الانحدار الكهروكيميائي يسمى الانتقال الحيوي Active transport في حين الانتقال إلى أسفل أو على طول الانحدار الكهروكيميائي يكون انتقالاً غير نشط (غير حيوي) Passive Transport.

ولأجل معرفة إذا ما كانت أنواع الأيونات، قد انتقلت حيوياً أو غير حيوي إلى الخلية، فانه يجب قياس تركيز أنواع تلك الأيونات التي في الوسط الخارجي وفي مراحل الخلية، وأيضاً الجهد الكهربائي (Em) الذي بين الخلية والوسط الخارجي.حيث يمكن أنجازه

باستعمال الكترود دقيق Microelectrode. وبالتعويض عن تركيز الأيون المقاس بمعادلة نرنست nernst، يمكن حساب فرق الجهد الكهربائي (Ecal) .حيث تدل Em على الجهد المقاس، والفرق ما بين Ecal و Em يدل على أن ما حدث هو انتقال حيوي أو غير حيوي.

$$Em - Ecal = Ed$$

Ed هي القوة المسيرة (الناقلة أو الدافعه) بالنسبة الكاتيونات،وتدل القيمة السالبة لـ Ed علي الأمتصاص غير الحيوي، والقيمة الموجبة تدل على الأمتصاص الحيوي. والعكس هو الصحيح بالنسبة للانيونات (Anion) ، حيث تدل القيمة السالبة على النقل النشط (الحيوي) والقيمة الموجبة تدل على النقل غير النشط (غير الحيوي) أو السالب. ويجب أن تذكر بأن مثل هذا الاختبار لمعرفة ما إذا كان نوع الأيونات قد ينتقل بوساطة الأنتقال النشط (الحيوي) أو غير النشط (غير الحيوي) ويكون فقط ساري إذا تمت المحافظة على ظروف الأتزان في النظام، وغالباً يصعب الوصول إلى هذا في دراسات النبات ككل، حيث أن قمم النبات تكون (Sink) قوية للأيونات الممتصة بالجذور.

وقد قاس كل من Spanswick and Williams 1964 الفروقات في الجهد الكهربائي وتركيزات الأيونينية في الوسط الخارجي وفي داخل خلية *Nitella*، ونتائج التجربة مبينة في الجدول 1.3 وزن الفرق في الجهد يساوي -67 ملفولت عند أتزان الصوديوم يكون كافياً لسيادة تركيز الصوديوم. وعندما كان الفرق في الجهد الكهربائي غالباً عالياً (–138 ملفولت) كان أمتصاص Na^+ غير نشط (غير حيوي). وأحتاج البوتاسيوم K^+ إلى فرق في

الجهد الكهربائي مساوٍ (-179 ملفولت) لأجل الأتزان. وعندما كان الفرق في الجهد الكهربائي أقل (-138 ملفولت) كان امتصاص البوتاسيوم نشطاً (حيوياً) وبالنسبة للCl^- فإن الفرق في الجهد الكهربائي مساو +99 ملفولت (لخلية مشحونة بالشحنة موجبة). هذا يكون مطلوباً للحفاظ على الأتزان عند قياس تركيزات للCl^-. وعندما يكون الجهد الكهربائي المقاس منخفضاً بوضوح فإن للCl^- يجب أن أمتصاص نشط.

Table 3.1 Measured (E_m) and calculated electropotential differences (E_{cal}) and the resulting driving forces (E_d). The data refer to experiments with *Nitella translucens* (SPANSWICK and WILLIAMS [1964])

Ion species	E_m	E_{cal}	E_d	type of uptake
Na^+	−138	− 67	− 71	passive
K^+	−138	−179	+ 41	active
Cl^-	−138	+ 99	−237	active

وحقيقة أن الخلايا الحية تكون دائماً مشحونة بشحنة سالبة لهذا فإن الأنيونات تكون معرضة للانتقال النشط (الحيوي) أكثر من الكاتيونات. وحينما يكون تركيز الأنيونات للخلية اعلى في تركيزها عن تركيزها في الوسط الخارجي فإنه يجب أن يحدث الأمتصاص النشط (الحيوي) . ولهذا فإن الأنيونات الرئيسية NO_3^- و Cl^- و SO_4^{2-} و H_2PO_4 يظهر أنها تتجمع كلها ضد التدرج (الأنحدار الكهروكيميائي).

يوضح الشكل 10.3 النتائج المتحصل عليها من قمم جذور نبات Mung bean (*Phaseoulus aureus*) حيث قورنت قيم الCl^- الممتصة المقاسة مع مستويات الCl الممتصة المحسوبة والمشتقة من شروط الأتزان في معادلة نرنست (Gerson and Poole

1972). ويستنتج بأن امتصاص Cl^- كان نشطاً (حيوياً) لأن تركيز الـCl^- المقاس أعلى عدة مرات من القيم المحسوبة.

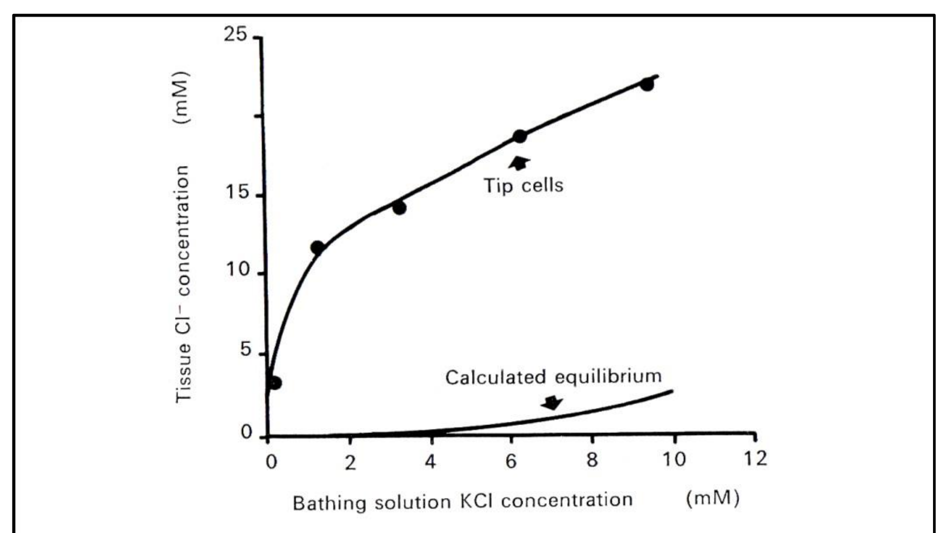


Fig. 3.10 Chloride concentration in mung bean root tips compared with the maximum concentration which could be due to diffusion calculated equilibrium (after GERSON and POOLE [1972]).

وتكون الحالة مختلفة تماماً بالنسبة للكاتيونات، بسبب أن الخلية مشحونة بشحنة سالبة، وربما تتجمع الكاتيونات في الخلية بواسطة القوى الفيزيائية فحسب وليس بالقوى الأيضية. وقام Hinginbotham, 1973 بعدة تجارب تشير بأن تركيزات كل من Na^+و Ca^{2+} و Mg^{2+} في خلايا النبات لا تزيد عن مستوى الأتزان الفيزيائي، ولهذا يكون امتصاصها غير مبشر (غير حيوية). ونتائج التجارب تدل على أن امتصاص البوتاسيوم يكون حيوياً. وتعطي النتائج الموضحة في جدول 1.3 تبرهن على هذا النوع من الأمتصاص. أعطى المزيد من

التوضيح من قبل Davis and Higinbotham, 1976 على الانتقال النشط للبوتاسيوم فهو ينتقل ضد الأنحدار في التركيز الكهروكيميائي من الخلايا البرانشيمية لأوعية الخشب في جذور نبات الذرة. وأثبتت معطيات التجارب المتُحصل عليها (Lin and Hanson, 1976) أن البوتاسيوم K^+ يمتص حيوياً وليس نشطاً بواسطة جذور الذرة.

وبناء النتائج الحديثة Cheeseman and Hanson 1979 بأنه في المدى المنخفض لتركيز البوتاسيوم $0<K^+<5$. ملفولت يكون انتقاله حيوياً إلى خلايا بإنزيم Atpase، بينما عند المدى العالي من تركيز لـK^+ فإن امتصاص البوتاسيوم K^+ يكون غير نشط (غير حيوي)، حيث أن الامتصاص السلبي (غير الحيوي) قد يحفز بوساطة الأنحدار من التركيز الكهروكيميائي الناتج من مضخة الـ H^+، والتي يعتقد بأنها موقع لأنزيم Atpase في الغشاء طبقاً لما جاء به Cheeseman and Hanson 1979 فإن ميكانيكية لأمتصاص الحيوي للبوتاسيوم K^+ قد أوقفت (أكبحت) بالتركيز العالي للبوتاسيوم K^+ ولقد لوحظت نفس المشاهدات من قبل Glass and Dunlop 1973.

إن الاختلاف في الجهد الكهربائي بين الخلية والوسط الخارجي يعتمد على الأيض. وهذا تثبته النتائج التي وجدها Jeschke, 1970 الذي شاهد أن الجهد الكهربائي في خلايا ورقة نبات *Elodea densa* في الضوء كانت حوالي − 180 ملفولت، بينما بلغت − 120 ملفولت فقط في الظلام. والآن هناك قبول واسع بأن الشحنة السالبة في الخلايا تنشأ من مضخات تسمى مضخات الكتروجنك Electrogenice pumps ومثل هذه المضخات تنتقل صافي الشحنات عبر الغشاء الحيوي، مضخة الهيدروجين الموضحة في 5.1.3 مع

نموذج لمضخة الكتروجنيك حوامل الكاتيونات وأيضاً الأنيونات يجب اعتبارها مضخات الكتروجينك على أن يتم تحفيز مناسب للشحنة الكهربائية.

7.1.3 **نفاذية الغشاء**

تعتمد الحركة غير النشطة للأيونات خلال الغشاء على الانحدار الكهروكيميائي السائد عبر الغشاء، الذي يمكن أن يحدث في الأتجاهين من الخلية إلى الوسط أو من الوسط إلى الخلية عبر الغشاء، لذا فإن الغشاء يسمح بالتدفق غير النشط من وإلى الخلية للأيونات. ومعدل التدفق يعتمد على نفاذية الغشاء، الذي يمكن تعريفه بأنه كمية الأنيونات الممكن أنتقالها لكل وحدة سطحية من الغشاء، ولكل وحدة زمنية. ومن المعروف بأن الأغشية تختلف في نفاذيتها للأيونات غير العضوية . وعلى سبيل المثال فإن الغشاء الخارجي للميتاكوندريا يكون أكثر نفاذية، بينما غشاؤها الداخلي يُمثل عائقاً للأيونات غير العضوية. وقرر (Gram, 1973) بأنه في جذور الذرة تكون نفاذية البلازماليما لل Cl^- أكثر من التونوبلاست (غلاف فجوة الخلية). كما هو موضح في (3.1.2) بأن نفاذية الغشاء الخارجي للكلوربلاست تعلب دوراً كبيراً في أيض الكربوهيدرات والطاقة.

أن العوامل الخاجية يمكن كذلك أن تؤثر على نفاذية الغشاء لذا فإن نفاذية الغشاء للمركبات المحبة للماء (الهيدروفيلك Hydrophilic) تعتمد بوضوح على تركيز H^+ و Ca^{2+} في الوسط المجاور (المتاخم). ولقد وجد Jacobson et al., (1950) في تجاربه التي قام بها على جذور نبات الشعير فإنه يحدث تشرب للبوتاسيوم عند رقم pH مساوٍ لرقم pH= 4.5 وفي نتائج مشابهة أوردها باحثون آخرون قادت إلى استنتاج أن أيون الهيدروجين H^+ يزيد من

نفاذية الغشاء. وفي مدى الـpH المنخفضة فإن أيون الكالسيوم يكون أكثر فاعلية في إحداث تأثير أتزان مضاد لتأثير أيون الهيدروجين H^+ (Maeschner et al., 1960) وقد عززت هذه النتائج بما وجده كل من (Jackson and Edwards 1966) و (Marschner and Mengel 1966) الذين أقترحوا بأن الارتفاع في نفاذية الغشاء بوساطة الـ H^+. ربما يرجع إلى الأتساع في مسامات الغشاء (Kavanau, 1965). وقد أوضح من الباحثين بأن المحافظة على سلامة الغشاء تحتاج إلى الـ Ca^{2+}. وطبقاً لما جاء به (van Steveninck, 1965) فإن الـCa^{2+} يمكن أن يؤثر في النفاذية عن طريق ربط الشحنات السالبة للبلازماليما Plasmalemma مع جدار الخلية وكما أن الكاتيونات الأخرى يكون رافقها سائد مع البروتوبلازم فإن هذا يوضح لماذا لا تستطيع الكاتيونات تغيير خواص النفاذية للأغشية إلى درجة كبيرة مثل Ca^{2+}. وأن التفاعل المتداخل ما بين Ca^{2+} و H^+ هو المثال قديم (كلاسيكي) عن التفاد الأيوني antagonism، حيث أن نوعين من الأيونات يعملان مباشرة بطريقة عكسية. وإذا أزيل الكالسيوم Ca^{2+} للغشاء بوساطة استبداله بأيون الهيدروجين H^+ (Mengel and Helal 1969) أو باستعمال المواد المخلبية Chelates (Van Steveninck, 1965) فإن نفاذية الغشاء تزداد بوضوح ويحدث نضوج (تسرب) للأيونات وللمركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض.

وفي هذا السياق هناك ظاهرة تعرف بتأثير فيتس Vites effect يجب أن تؤخذ في الاعتبار. في تجارب جذور الشعير المستأصلة لاحظ الباحث Viets 1944 بأن وجود الكالسيوم Ca^{2+} في الوسط الخارجي يحفز امتصاص البوناسيوم K^+ كذلك وأيضاً البروميد

Bromide. والكاتيونات الأخرى عديدة التكافؤ مثل Mg^{2+} و Sr^{2+} و Ba^{2+} وحتى Al^{3+} كان لها نفس التأثيرات، إلا أن تأثيرها أقل وضوحاً ولكن المثير الاهتمام كثيراً هو أن Ca^{2+} الموجود في داخل الجذور لا يؤثر على امتصاص البوتاسيوم K^{+}. وأن وجود الـCa^{2+} والكاتيونات أخرى التي ذكرت آنفاً تكون ضرورية في المحلول الخارجي. وهذه النتيجة تقترح بأن تأثير الـCa^{2+} عند الحدود الخارجية بين المحلول الغذائي والغشاء البلازمي (البلازماليما) يكون هو المسؤول عن تأثير Vites وليس الأيضية في الخلية. وطبقاً للدراسات التي جاء بها كل من (Mengel and Helal 1969) بأن الكالسيوم Ca^{2+} يؤثر على تدفق البوتاسيوم والفوسفور إلى خارج الخلية (efflux) وليس على تدفقها إلى داخلها (influx) وأن نقص الـ Ca^{2+}في المحلول الخارجي أو الحدود المحيطة بالخلية ينتج عنها معدل تدفق عالٍ إلى خارج الخلية، وربما أن صافي الامتصاص ينتج من الفرق بين التدفق إلى الداخل (influx) والتدفق إلى الخارج (efflux)، فإن تركيز الـ Ca^{2+} العالي بما فيه الكفاية في المحلول الخارجي لا يقلل فقط من معدّل التدفق، ولكن يزيد في نفس الوقت من امتصاص الأيونات. وتفسير تأثير فيتش في هذه الحالة هو أن الكالسيوم يقلل من نفاذية الغشاء، وهذا يساعد على مسك الأيون. إن تركيز الـCa^{2+} في المحلول الغذائي المطلوب لنفاذية الاعتيادية المناسبة لأغشية الخلية هو منخفض جداً (تقريباً 10^{-4} مولر) وهذا أقل من مستويات الكالسيوم Ca^{2+} التي توجد عادةً في محلول التربة (أنظر 4.3.2) ولهذا السبب فإن تأثير فيتش لا يلعب دوراً كبيراً في ربط الترب شريطة أن يكون pH التربة ليس منخفضاً جداً لذا من غير محتمل فإن غياب Ca^{2+} في محلل التربة لا يُحتمل أن يكون مسؤولاً على نضوج (تسرب) المغذيات من جذور النبات.

ولكن هناك عدة عوامل أخرى تستطيع أن تحفّز فقدان المغذيات من خلايا الجذور عن طيق التسرب (النضوج) الأيوني. وشوهد النضوج عند إعاقة عمليات الأيضية في الخلية وخاصية اضطراب التنفس مع الجذور. وقرر (Mershner et al., 1966) بأن قمم جذور الذرة قد فقدت حوالي 30 % من البوتاسيوم K^+ تحت الظروف اللاهوائية (في وسط N_2) بينما كان الفقد من البوتاسيوم K^+ 3 % فقط عندا زاد بكميات كافية من الأكسجين. لقد قرر Mengel and Pfluger, 1972 بأن معدلات تدفق البوتاسيوم K^+ إلى خارج بذور الذرة تحت الظروف اللاهوائية كانت أكثر بمقدار خمسة أضعاف تقريباً مقارنةً بالوسط الهوائي. وأن معدل التدفق إلى الخارج أنخفض في الحال عندما نقلت الجذور من الظروف اللاهوائية إلى الظروف الهوائية. وعلى ضوء معرفة نشاط أنزيم Atpase وتأثيره على الجهد الكهربائي للخلية (أنظر 5.1.3) فإن أفضل طريقة لتوضيح هذه النتائج يكون بإفتراض الانخفاض في معدل التنفس كضبط نشاط انزيم Atpase بسبب نقص ATP. ولذا كما هو موضح في 5.1.3 فإن الشحنة السالبة للخلية تنخفض وتعوق سعة الأحتفاظ بالكاتيونات ويحفز تدفق الكاتيونات إلى الخارج الخلية (efflux).

8.1.3 المنافسة والتضاد والتحفيز الأيوني

كما شرح في الفصول السابقة بأن الضخ الالكتروجينك electrogenic (حوامل للأنيونات والضخ أيون الهيدروجينH^+) ينشأ عنها شحنة سالبة في الخلية، وأن معظم أنواع الكاتيونات تجذب بوساطة هذه الشحنة السالبة، ولذا يكون امتصاصها غير نشط (غير حيوي) عليه فإن امتصاص الكاتيونات هي عملية غير تخصيصية، وتعتمد بشكل

رئيسي على تركيز نوع الكاتيون في الوسط الغذائي، وفي بعض الحالات تعتمد أيضاً على النفاذية النوعية للغشاء الحيوي الخاصة من الكاتيون معين (الأنتشار الميسر). ولهذا السبب ربما يحدث تنافس غير نوعي بين أنواع الكاتيونات على الشحنات السالبة للخلية. ويبرهن هذا على الملاحظات المتكررة بأن المجموع الكلي للكاتيونات في النبات أو خلايا النبات يتغير تغيراً قليلاً على الرغم من الاختلاف في مستويات كل كاتيون من الكاتيونات بصورة منفردة في الوسط الغذائي. لذا فإن زيادة الإمداد بنوع واحد من الكاتيون في الوسط الغذائي يمكن أن تخفض depress مستويات للأنواع الأخرى من الكاتيونات في النبات والمثال النموذجي عليها في جدول 2.3. وزيادة مستوى Mg المضاف إلى نباتات دوار الشمس ينتج عنه أنخفاض في مستوى كل من Na و Ca وزيادة متوافقة في تركيز Mg وبهذا يحافظ على المجموع الكلي الثابت للكاتيونات في النبات في كل المعاملات.

Table 3.2 The effect of an increasing Mg application on the content of various cation species in sunflower plants (SCHARRER and JUNG [1955])

	K	Na	Ca	Mg	Sum
			me/100 g DM		
Mg_1	49	4	42	49	144
Mg_2	57	3	31	61	152
Mg_3	57	2	23	68	150

ومن نتائج هذه التجربة هو أن محتوى الـ K لم ينخفض بإضافة Mg على الرغم أن هذه الحالة لوحظت في دراسات أخرى. ولهذا فإن القاعدة العامة هي أن زيادة الإمداد بنوع كاتيون واحد ينتج عنها أنخفاض في تركيز كاتيون آخر. وتسمى هذه العلاقة بالتضاد، وعلى

الرغم بأنه لا يمكن استعمال هذا الاصطلاح من الناحية المعني أم المفهوم الكلاسيكي (القديم)، إلا أن تعريفه هو تأثيرات نوعين من الكاتيونات يكون متعارضاً.

وحتى الآن ما زالت الخلفية الفسيولوجية لهذه العلاقة غير واضحة، أي أن زيادة نوع كاتيون واحد يقلل من تركيز نوع كاتيون آخر. ويفسر بعض الباحثين هذا التأثر على أساس أنها عملية تنافس على الناقل أو الحامل الكاتيوني. وإذا كان هو صحيحاً بذلك يعني أن الكاتيونات الرئيسية (Ca^{2+} وMg^{2+} و K^{+}) قد تنافس على نفس الموقع في الناقل الكاتيوني. ويبدو هذا غير محتمل، نظراً للاختلاف في الحجم وتركيب الأيونات، وبالإضافة لذلك لم يظهر مثل هذا التأثير التنافس لمثل هذه الكاتيونات في التجارب القصيرة المدى Leggett and Gilbert, 1969.

وكما وضح سابقاً بأن الخلية تنتج أنيونات مكافئاً تجذب الكاتيونات وتحتفظ بها بصورة غير متخصصة. هذا الجذب من الممكن أن يتحول إلى سباق في الامتصاص بين أنواع الكاتيونات. ونوع الكاتيون الأسرع امتصاصاً هو الذي سيعادل المكافئات الأنيونية أولاً، وبذلك يقلل من الجذب الالكتروستاتيكي الآخر. ويعتمد معدل الامتصاص على تركيز نوع كاتيون بمفرده في المحلول الغذائي، وأيضاً على آلية (ميكانيكية) الامتصاص. والبوتاسيوم الذي يمتص بسرعة بوساطة الخلية امتصاصاً نشطاً (حيوياً) أو بوساطة الأنتشار الميسر faciliatated diffusion يتنافس بقوة في عملية امتصاص الكاتيون. لذا فإن عدم وجود (غياب) البوتاسيوم K^{+} في المحلول الغذائي تحفز كثيراً لامتصاص أنواع الكاتيونية. بسبب أنخفاض شدة التنافس وهذه العلاقة موضحة في جدول 3.3 وهي نتائج تجارب

(Forster and Mengel, 1969) التي نمت فيها نباتات الشعير في محلول غذائي متكامل. وفي إحدى المعاملات حجب (لم يضاف) البوتاسيوم عن المحلول الغذائل لمدة ثمانية أيام أثناء فترة النمو، بعد هذه الفترة الزمنية قُدر المحتوى الكاتيوني للمجموع الجذري والخضري للنبات في كلتا معاملتين (معاملة الشاهد (control) التي يوجد فيها البوتاسيوم والمعاملة المقطوع عنها إمداد K^+ (interrupated) وكما هو مبين في الجدول 3.3 فإن أنقطاع الإمداد بالبوتاسيوم أدى إلى تناقص حاد في مستويات الـK في المجموع الجذري والمجموع الخضري، بينما زاد محتوى الـCa والـMg وNa بوضوح. وإن المحتوى الكلي لأنواع الكاتيونات الأربعة لم يتغير بصورة معنوية بسبب إنقطاع K^+. وهذا يدل على أن نقص مكافئات البوتاسيوم ثم تعويضه تقريباً بوساطة أنواع من الكاتيونات أخرى. لكن هذه الكاتيونات تكون غير قادرة على تعويض الوظائف الفسيولوجية للبوتاسيوم K^+ والنتائج المتحصل عليها كما في الجدول (3.3) تبين أن أنقطاع الإمداد بالبوتاسيوم، أثناء مرحلة التفرع (تكوين الأشطاء) نتج عنها هبوط (أنخفاض) معنوي إنتاج الحبوب.

Table 3.3 The effect of an interruption in the K supply on the cation content of young barley plants; interruption period 8 days (Forster and Mengel [1969])

	Roots		Shoots	
	Control	Interr.	Control	Interr.

إن التأثير التضادي شائع في الامتصاص الأنيوني، على الرغم من أن أمتصاص Cl^- وSO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$ يمكن أن يُحفز بالانخفاض القوي من امتصاص NO_3^- (Kirkby and

Kinght 1977). ويتضاد الأيوني الأكثر شيوعاً هو الذي يكون بين الـNO_3^- و الـ Cl^-. حيث الإمداد الزائد بالـ Cl^- في المحلول الغذائي يقلل من امتصاص NO_3^- والعكس صحيح. وهذا التأثير ملحوظ بشكل خاص في النباتات التي تجمع الـ NO_3^- والـ Cl^- مثل نباتات *Chenopodiaceae*. وأسس هذا التضاد غير التخصيص ، ربما يشبه التنافس الكاتيوني.

ويستعمل مصطلح التشخيص Synergism في تغذية النبات لوصف على الظاهرة التضاد. وتحدث هذه العلاقة التشجيعية بين مغذيين نباتين عندما تحفز امتصاص مغذٍ واحد بإمتصاص مغذٍ آخر. وعلى سبيل المثال بأن التغذية بالنترات NO_3 تحفز امتصاص الكاتيونات، وهذا التأثير غير تخصص (غير نوعي) وزيادة مستوى التغذية بالنترات NO_3^- يحفز امتصاص الكاتيونات التي تكون مصاحبة يتراكم مستويات عالية من الحامض العضوي.

وقد تفُسَّر التداخلات الأيوني الموصوفة أعلاه بأنها تأثيرات تبادلية (استبدالي) غير متخصصة، وليس كعمليات تنافس على الحامل (الناقل) وهذه لا يضمن بأن آلية التنافس على الحامل لا تحدث بعملية الامتصاص. وبصفة عامة أصبح مقبولاُ بأن أنواع الأيونات ذات العلاقة الوثيقة مثل K^+ و Rb^+ و Ca^{2+} و Sr^{2+} تتنافس على نفس الموقع في الحامل (الناقل)، وحتى في بعض الحالات يكون نمط التوزيع لهذه الأيونات داخل النبات متشابهاً (Menzel and Healed (1955), Michacl 1959) والأزواج الأخرى من الأيونات المتشابهة تشمل الـSO_4^{2-} و الـSeO_4^{2-} (Leggett and Epstein 1956) والوفسفات والارسنيت (Michacl and Marschner 1958) وتعطي التدخلات إعتراضاً على وجود الحوامل أو

على الأقل وجود مواقع ربط خاصة لأجلها تنافس أنواع الأيونات ذات العلاقة الوثيقة. وبسبب السلوك (الأسلوب) المتشابهة لكل من K^+ وRb^+ فإن النظير المشع لل Rb. (86– Rb) يستعمل غالباً في التجارب التي تستعمل فيها النظائر المشعة للبوتاسيوم K^+ ليس له فترة نصف عمر طويلة مثل Rb. لكن أصبح الآن معروفاً بأن الK^+ والRb^+ لهما سلوك غير متشابه كما كان يعتقد في السابق (West and Pitman, 1967, Mess and Leggett 1908).

9.1.3 الأمتصاص الأيوني وتراكم الأنيونات العضوية

تؤكد الشواهد بأن خلايا النبات تكون مشحونة بالشحنة السالبة بمقارنة مع الوسط الخارجي لأنها تحتوي ضمناً على كميات زائدة من المكافئات السالبة الشحنة ولكن هذا الفائض يكون ضئيلاً جداً حتى عندما تكون الأختلافات في الجهد الكهربائي عالية وفي معدل 200 ملفولت. كذلك فإن زيادة المكافئات الأنيونية تكون صغيرة، بحيث لا يمكن قياسها بالطرائق التحليلية، ولكن يمكن قياسها فقط الجهد الكهربائي الخلوي. والمجموع الكلي للمكافئات الأنيونية في أية خلية أو نسيج يكون مساوياً فعلياً للمجموع الكلي للكاتيونات.

وتمتص جذور النباتات الأيونات المعدنية (غير العضوية) بمعدلات مختلفة وبعض الأيونات مثل الNO_3^- و K^- و Cl^- يكون امتصاصها سريع جداً، بينما امتصاص أيونات أخرى مثل Ca^{2+} وSO_4^{2-} يكون بطيئاً نسبياً، وهذا الأختلاف في معدل الامتصاص يعني بأن النباتات تنزع الكاتيونات والأنيونات في الغالب بكميات غير متساوية من الوسط

الغذائي. وقد بين Jacobson 1955, Ulrich 1941 وأخرون في التجارب على الجذور المستأصلة والبادرات الحديثة بأن عدم التوازن في امتصاص الأيونات والكاتيونات في النبات تمّ تعويضه بتراكم أو بتحلل الأنيونات العضوية غير المتطايرة وخاصة الماليت malate. وتمت المحافظة على التوازن الأيوني في الوسط الغذائي بوساطة أفراز الجذور للـH^+ (زيادة في الامتصاص الكاتيوني) أو أفراز الـOH^- (زيادة في الامتصاص الأيوني. وجود CO_2 المتحرر من عملية التنفس في الوسط الجذري يؤكد أن حدوث HCO_3^- هو أكثر من OH^- في الوسط الغذائي عندما تمتص النباتات كميات زائدة من الأنيونات.

إن المفاهيم المشروحة أعلاه، التي وضحتها مُجمل النتائج المهمة جداً للباحث (Hiatt, 1967) الموضحة في جدول 4.3 . بان جذور نبات الشعير الحديثة التي حضنت لفترة قصيرة نسبياً في محلول K_2SO_4 و KCl أو $CaCl_2$ والجذور التي عوملت بـK_2SO_4 قد امتصت البوتاسيوم K^+ بمعدل أسرع بكثير من SO_4^{2+}. وهذا يعني أن امتصاص الكاتيوني يزيد كثيراً عن الامتصاص الأنيوني (أفراز H^+ إلى المحلول الغذائي).

Table 3.4 Relationship between cation uptake, anion uptake, change of organic anion content, and CO_2 assimilation of young barley roots (HIATT [1967])

Nutrients (1 me/1)	Cation uptake	Anion uptake	Change of organic anion equivalents	rel. Ass. of ^{14}C
	in μ e/g			
K_2SO_4	17	<1	+15.1	145
KCl	28	29	— 0.2	100
$CaCl_2$	<1	15	— 9.7	60

وقد عوض النقص في المتكافئات الأنيونية في الجذور بوساطة تشجيع تراكم

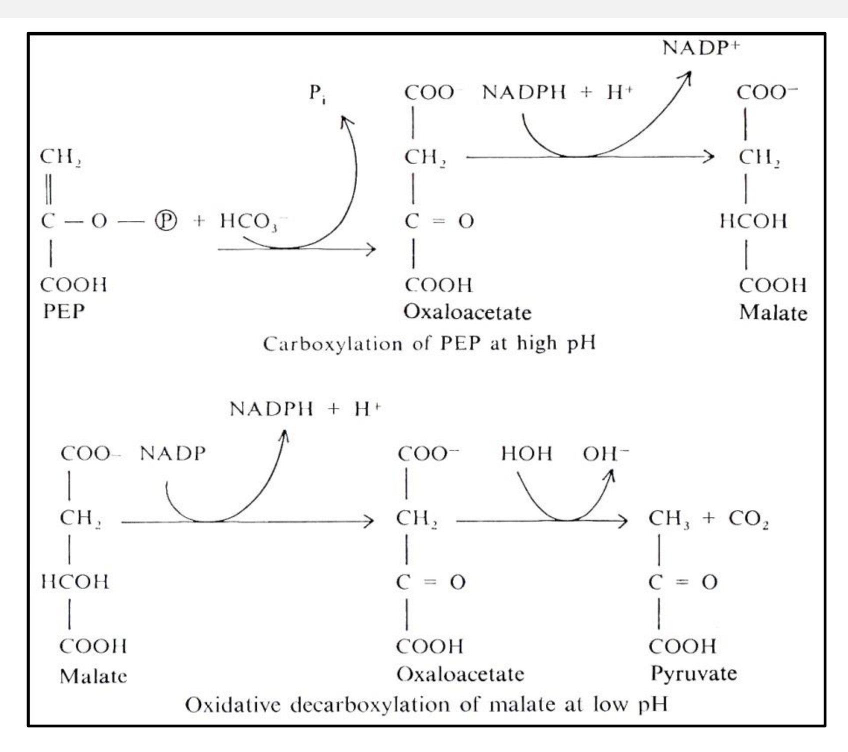
الأنيونات العضوية. وينعكس هذا التراكم أيضاً في المعدّل المرتفع لتمثيل CO_2 الدال على زيادة تصنيع الحامض العضوي . وفي معاملة $CaCl_2$ ظهرت حالة معاكسة. وهنا زاد امتصاص Cl^- كثيراً بمقارنة الـCa^{2+}. (فرز HCO_3 إلى الوسط الغذائي). وبهذا تنتج زيادة في امتصاص الأنيونات غير العضوية إلى الخلية وتمت معادلة هذه الزيادة بتقليل معدل تمثيل CO_2 وكذلك بزيادة تحلل الأنيونات العضوية. وفي معاملة KCl حدث أمتصاص لكل من الـK^+ والـCl^- بمعدلات متشابهة (تغير بسيط في pH في الوسط الغذائي) . وهذا يعني بأن مستوى الأنيونات العضوية في الجذور تغير أيضاً بصورة بسيطة جداً، ومعدل تمثيل CO_2 لم يتغير نسبياً.

ولفهم سبب قيام الـmalate بدور كمعوض الأنيوني في أنسجة خلايا النبات، فإنه من الضرورة بمكان معرفة بعض الشيء عن الكيمائيوحيوية حامض الماليك، فعند pH الحامض الخفيف لمعظم العصارات الخلوية (5 – 6) ويوجد حامض الماليك حصرياً في صورة أنيون ثنائي التكافؤ المفكك. ويكون هذا صحيحاً في السيتوبلازم حيث يكون الـ pH غالباً مرتفعاً في الفجوة العصارية للخلية (Smith and Raven 1976). وهناك أدلة على أن مخزن أيضية (عمليات الحيوية) للميتاكوندريا والسيتوبلازم والفجوة العصارية للخلية تظهر بصورة مفصولة لأجل الماليت. ولكن أغلب الماليت malate يبدأ في حدوثه في فجوة العصارية للخلية مصاحباً للكاتيونات غير العضوية، بينما العمليات الأيضية الحيوية تكون مصاحبة بصورة كبيرة للسيتوبلازم (Osmand, 1976). تصنيع وأنحلال الماليت يحصل في السيتوبلازم، ويبدو أنه محكوماً بالتحول في الـpH الخلوي، كما هو موضح أدناه (Davies, 1973).

وزيادة pH تنشط أنزيم الـ PEPcarboxlyase. لصنع الاكسالوأسيتيت Oxaloacetate من PEP عن طريق استهلاكه الـ HCO_3 أو CO_2 + OH^- ويمكن بعدها أختزال الاكسالوأسيتيت Oxaloacetate إلى ماليت malate الذي يتراكم. وعلى العكس من ذلك فإن pH المنخفض يحفز العملية العكسية. والتي تدعى دي كربوكسيل الاكسيدية (عملية نزع مجموعة الكربوكسيل تأكسيداً (Oxidative decarboxylation) للماليت بوساطة تنشيط أنزيم الماليت (malate) وسمي الباحث Davies حالة pH هذه بأنها أداة تعديل دقيقة (بارعة) التي تمكن الخلية من التأقلم بنجاح مع اضطرابات (التغير) pH في السيتوبلازم. وخاصة عملية أضافة مجموعة الكربوكسيل تمكنها من مقاومة إنتاج OH^- بوساطة الخلايا بتكوين الماليت malate (Smith and Reven 1979).

والتفاعلات الموضحة أدناه، تبين بأن الأكسالوأسيتيت Oxaloacetate توجد كوسيط إنتقالي محتمل في عملية نزع مجموعة كربوكسيل تأكسدياً (دي كربوكسيل الاكسيديةOxidative decarboxylation) للماليت.

إن اعتماد تراكم الماليت malate على الـpH الخلوي توضح نتائج (Hiatt, 1967) المبنية في الجدول 4.3 وفي حالة SO_4 وK يكون امتصاص K^+ اسرع بكثير من امتصاص SO_4^{2+} الذي يحفز تبادل الـH^+ من الجذور، حيث يرتفع الـpH في نسيج الجذر ويتراكم الماليت malate، والعكس يكون عند إضافة $CaCl_2$ إلى الجذور فإن امتصاص الأنيونات يزيد على امتصاص الكاتيونات. وإفراز HCO_3 من الجذور يخفض الـpH الخلوي وكذلك مستوى الماليت.



إن صورة ومستوى التغذية بالنتروجين يمكن أن تؤثر بوضوح في الاتزان الكاتيوني-الأيوني بشكل كبير في نباتات (Jangk, 1967) و (Kurvits and Kirkby 1980). النباتات المغذاة بالنتروجين في صورة نترات (NO_3-N) تمتص بصفة عامة كميات زائدة من الأنيونات ويصبح الوسط الغذائي التي تنمو فيه قلوياً (Kirkby and Mengel 1967). إن تمثيل NO_3^- بعد الامتصاص يؤدي إلى تأثير القلوي في النبات، وبذلك تتراكم الأنيونات العضوية (أنظر 2.3.3). ويمكن أن تظهر بعض الشحنات أيضاً من تمثيل NO_3 في الوسط الغذائي لـHCO_3 في حالة تبادل مع زيادة امتصاص الأنيوني.

وفي كثير من أنواع النباتات نقل الشحنة من عملية تمثيل النترات NO_3^- يمكن ان

تفسر تراكم الأنيونات العضوية في النبات (Dijkshoorn et al., 1968). لذا فإن زيادة مستويات التغذية بالنترات NO_3 تحفز بناء تمثيل النيونات العضيوية من ثم تتراكم الكاتيونات وهذا تبينه نتائج Kirkby and Kinght (1977) لنباتات الطماطم الموضحة في شكل 11.3.

وعلى الرغم من أن مستوى الكاتيونات أبقى عليه ثابتاً في المحلول الغذائي، فإن تركيزات الكاتيونات والأنيونات العضوية قد زاد بصورة كبيرة استجابة إلى التغذية بالنترات NO_3 . عن زيادة التغذية بـNO_3^- في الأجزاء العليا للنبات فإن الأنيونات العضوية تراكمت لأتزان الشحنة الكاتيونية التي هي أصلاً مصاحبة لأيونات النترات.

ونتائج Blevins et al., 1974 وأيضاً Kirkby and Kinght 1977 تدل على أن الامتصاص النشط لنترات يشجع امتصاص (Symport) الكاتيونات. ولكن النترات يمكن أن يحدث بالتبادل الـOH^- وبدون امتصاص الكاتيون كما أوضح Kirkby and Armstrong,1980 على نبات الخروع الزيتي (*Ricinus Communis*). وهذا التبادل NO_3^-/ OH^- (antiport) يبدو أنه سائداً أيضاً في النجيليات، حيث يكون امتصاص الأنيونات ضعفه إمتصاص الكاتيونات (Kirkby 1974).

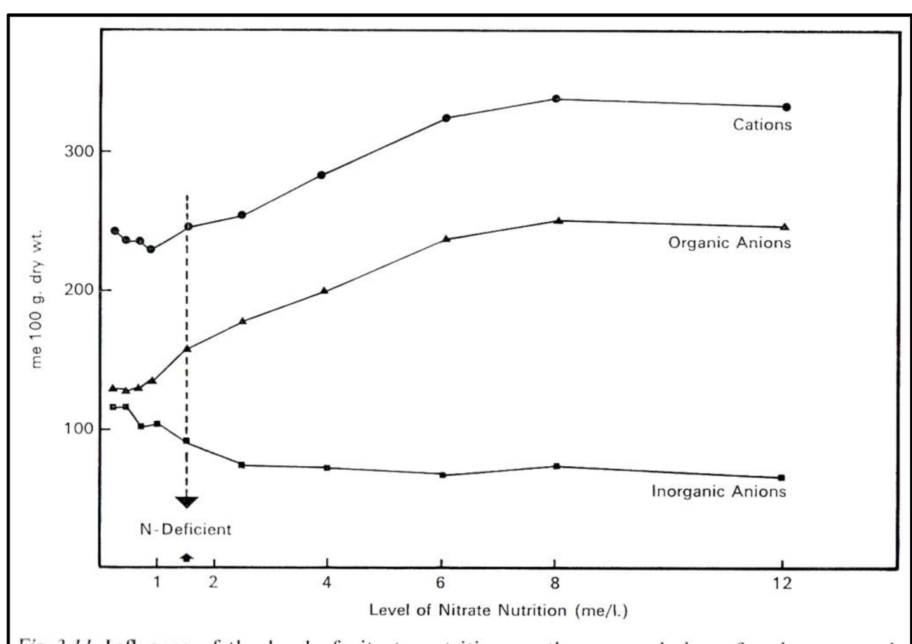


Fig. 3.11 Influence of the level of nitrate nutrition on the accumulation of cations, organic acid anions and inorganic anions in tomato plants (after KIRKBY and KNIGHT [1977]).

ومن الشرح المبين أعلاه يكون واضحاً أن النباتات المغذاة بالنتروجين في صورة نترات NO_3-N تحتوي على مستويات عالية من الكاتيونات والأنيونات العضوية. وعكس ذلك فغن النباتات التي زودت بالأمونيوم (NH_4^+-N)، تحتوي في الغالب على تركيزات منخفضة من أنيونات غير عضوية (Ca وMg وK) وأحماض عضوية بينما العناصر التي امتصت كأنيونات (Cl,P,S) توجد تركيزات عالية (Coic et al., 1962). وهذا يتضح من الجدول 5.3 الذي يبين التوازن بين الأنيوني والكاتيوني لأوراق نبات الخردل النامية في مصدر نيتروجين في صورة نترات NO_3-N أو نيتروجين في صورة أمونيوم NH_4-N.

Table 3.5 Influence of the form of N-nutrition on the cation-anion balance in white mustard leaves (KIRKBY [1968])

	Cations					Anions					
	Ca	Mg (me/100 g DM)	K	Na	**Total**	NO_3	H_2PO_4 (me/100 g DM)	SO_4	Cl	Org. acids	**Total**
NO_3	107	28	81	5	**221**	1	26	25	25	162	**239**
NH_4	72	22	40	7	**141**	1	25	25	31	54	**136**

إن آلية امتصاص النتروجين في صورة الأمونيوم NH_4 غير مفهومة بالكامل حتى الآن . وطبقاً للنتائج التجريبية DeJaegere and Neirinckx (1978) وأيضاً Munn and Jackson (1978) فإن NH_4 تُمتص بالتبادل مع H^+. وهذا الاكتشاف متطابقاً تماماً مع الملاحظات المعروفة بأن استعمال النتروجين في صورة نترات NH_4-N كمصدر للنتروجين ينتج عنه حموضة الوسط الغذائي Kirkby and Mengel 1987. إلا أن البحث الذي أجراه Heber et al., 1974 على البلاستيدات الخضراء (كلوروبلاست) أعطت أستناجاً بأن الـ NH_3. تنقل أكثر من الـ NH_4. عبر الغشاء الخارجي لكولوروبلاست والنتائج غير المنشورة لـ Mengel. وزملائة على تجارب الامتصاص، حيث استعملت فيها نباتات سليمة أوضحت بأن NH_4 يمكن أن يفقد البروتون (Deprotanated) عند الغشاء البلازمي. لذا يمكن أن تجتاز أمونيا الغشاء تاركة وراءها أيون H^+ واحد لكل جزيء NH_3 ممتص. إن عملية فقد البروتون وكذلك تبادل H^+ يؤديان أيضاً إلى حموض الوسط الجذري.وأذا أمتص النيتروجين في صورة أمونيوم **NH_4-N** كأمونيا NH_3 وليست في صورة أيونية، فلا يتوقع مشاركتها في التنافس الكاتيوني. وقد قرر Mengel et al., 1976 غياب التنافس بواسطة **NH_4-N** ، وهذا

يبن أن امتصاص NH_4 بواسطة نباتات الأرز الحديثة لم تتأثر بتأثير التنافس بواسطة تركيز K^+ في الوسط الغذائي.

التوازن الكاتيوني ـ الأيوني المهم، خاص لأنواع النباتات البقولية، التي تعتمد على تثبيت جزئي N بواسطة البكتريا الريزوبيوم Rhizobium. وتحت مثل هذه الظروف يزداد امتصاص الكاتيونات على امتصاص الأنيونات بكثير، وتوازن الزيادة في الكاتيونات بوساطة أفراز الـH^+ من الجذور. وقد وضح (Nyatasanga and Pierre 1973) أن محصول الصفصفة يثبت النتروجين وينتج 10 أطنان للمادة الجافة / لهكتار، وبذلك تحتاج 600 كجم $CaCO_3$ / لهكتار لتعديل حموضة التربة الناتجة عن ذلك.

10.1.3 العلاقة بين معدّل الامتصاص وتركيز الأيون في المحلول الغذائي

يعتمد المعدل الذي يمتص عنده نوع أيوني ما على تركيزه في الوسط الغذائي، وهذه العلاقة ليست علاقة خطية ولكن تتبع السلوك للمنحنى الأسيمبترتيك (asymptratic curve) أنظر شكل 3.12 وربط (1952) epstien and Hagen عملية النقل بوساطة الحامل الأيوني عبر الغشاء بعملية التحليل الأنزيمي لمادة التفاعل. لهذا السبب فإن الطاقة الحركية التي تسمى Michaelis-Menten Kinetics يمكن تطبيقها على عملية الأمتصاص الأيوني، حيث قورن الأيون الذي أمتص مع مادة التفاعل والحامل مع الأنزيم. وهذه وضح بيانياً، وكما هو مبين أيضاً في الشكل 3.12 ورياضياً كالآتي:

$$I = \frac{I_{max} \cdot C}{K_m + C}$$

حيث أن:

I = التدفق إلى الداخل (معدّل الامتصاص).

I_{max} = أقصى تدفق إلى الداخل (أقصى معدّل الامتصاص).

Km = ثابت **Michaelis menten** وهو التركيز.

C = تركيز الأيون في المحلول عند سطح الجذر.

وعندما

I = ½ أقصى تدفق. تكون القيمة المميزة لأيون معين عبر الغشاء خاص أو نوعي.

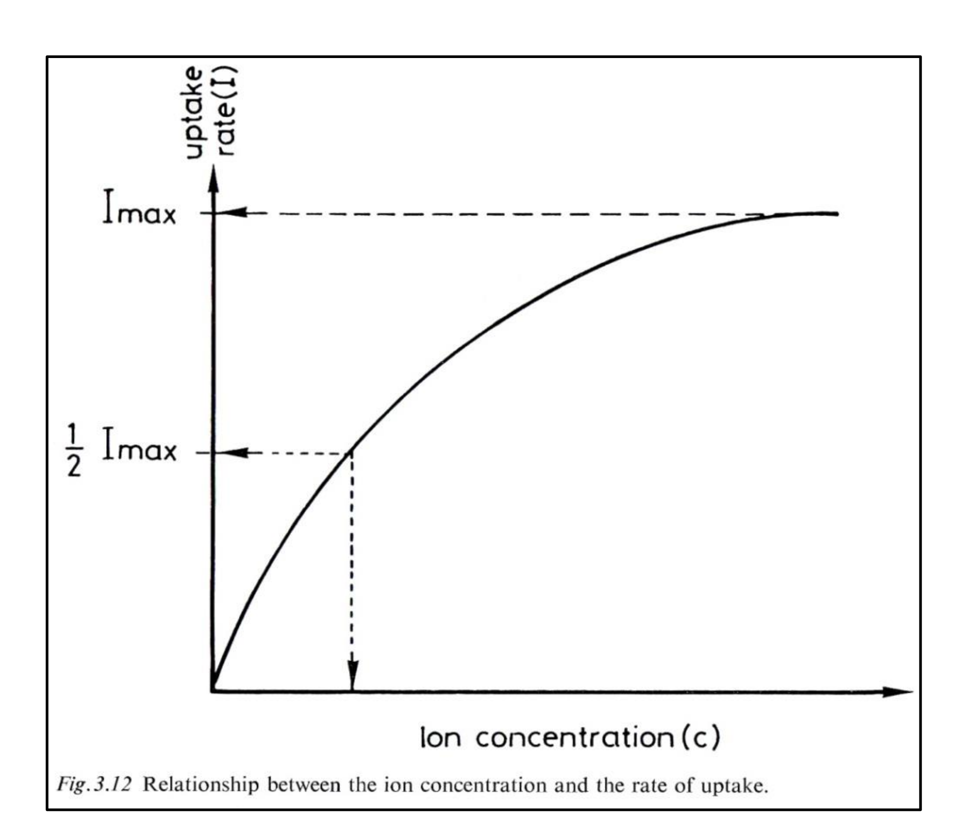


Fig.3.12 Relationship between the ion concentration and the rate of uptake.

ولقد استعمل Barber (1979) الصورة المعدلة للمعادلة الموضحة أعلاه لوصف امتصاص الأيون بواسطة جذور نبات الذرة سليمة. وهذه تأخذ في حساب الحقيقة القائلة أن محصلة امتصاص لنوع أيوني هي ناتجة من عملية تدفق دخول الأيون (influx) وخروج الأيون من ذلك الجزء (efflux). وعندما يسمح لنبات باستنزاف المغذيات من المحلول الغذائي إلى أن يصل صافي التدفق إلى داخل الخلية (In) إلى الصفر، وهذا يعني وجود الحد الأدنى من التركيز. وفي هذه الحالة فإن التدفق إلى الداخل يساوي التدفق إلى الخارج كما أن "C_{min}" تكون قيمتها ليست صفراً عندما تكون In تساوي صفراً ولهذا فإن المعادلة أعلاه تعدل إلى:

$$I_n = \frac{I_{max}\,(C - C_{min})}{K_m + (C - C_{min})}$$

امتصاص منحنيات التماثل الحراري (isotherms) والذي يصف الطلب على مغذٍ مع التركيز في المحلول يتم الحصول عليه بقياس معدل الاستنزاف من المحلول المغذي للنبات (Classen and Barber 1976) وبقياس C_{min} وباستعمال المعادلة يمكن قياس In وهو صافي التدفق إلى الداخل "In".

وتركيز C_{min} بصفة عامة يكون منخفضاً (< 5 ميكرومول) ويعتمد على ظروف العملية الأيضية. وإن مصطلح I_{max} غير ثابت، كما أوضح (Classen and Barber 1976) بالنسبة الـ K^+. يعتمد بشكل أكبر على حالة البوتاسيوم K^+ في النبات. وكما ارتفع محتوى K^+ في النبات، وأنخفضت قيمة I_{max}.

بعض خواص الامتصاص لـ NO_3-H_2PO_4 و K^+ موضح في جدول 3.6. ونتائج هذا الجدول يمكن أن تكون لها علاقة بالامتصاص الفعال (النشط). وتعكس قيمة المنخفضة لـ H_2PO_4 لاحتياج النبات المنخفض لأيون بمقارنة NO_3 أو K^+ . وبإضافة لهذا فإن القيم المنخفضة تدل أيضاً على أنخفاض الكبير لتركيز H_2PO_4 عن NO_3 أوK^+ الموجود عادةً في محلول التربة (أنظر 2.3.5) وعلى الفعالية العالية للامتصاص الفوسفات ضرورية لتفي بالطلب النباتات.

Table 3.6 Influx characteristics of intact 18 day old maize roots growing in solution culture (BARBER [1979]).

Nutrient	I_{max} pMol, cm^{-1}, s^{-1}	K_m μM	C_{min} μM
NO_3^-	1.0	12	4
$H_2PO_4^-$	0.4	3	0.2
K^+	2.0	17	2

واقترح (Epstein, 1966, 1972) أن هناك آليتين منفصلتين تشتركان في نقل الأيون لكثير من الأيونات المغذية. ويتوقف لحدوث هذه الآلية على التركيز الخارجي. وفي حالة الـ K^+ فإن الآلية الأولى تعمل عند تركيزات البوتاسيوم K^+ المنخفضة (0 – 0.2 مللمول) وتكون ذات إنتقائية عالية للبوتاسيوم K^+ ، بينما الآلية الثانية (II) تأتي لتعلب دوراً عند التركيزات الأعلى (1–50 ملمول) ولها أنجذاب منخفض كثيراً للبوتاسيوم. وبرهن Epstien أن هذه النتائج يمكن أن توضح بوجود نظامي نقل البلازماليما. ومن ناحية أخرى فإن نمط الامتصاص لهذا الـK^+ يمكن أن يوضح ببساطة وجود آلية لامتصاص نشط (active) عند

تركيزات البوتاسيوم المنخفضة مع تضمنها للامتصاص غير النشط.عند تركيزات أعلى من البوتاسيوم الوسط الخارجي (المحلول المغذي). وهذا التفسير يتطابق مع دراسات امتصاص الـ K^+ التي أجريت على جذور الذرة بواسطة (Cheeseman and Hanson 1979) أنظر إلى (1.2.10).

في تقييم للعديد من المنحنيات الامتصاص الأيوني (معدل الامتصاص ضد تركيز الأيون في الوسط الغذائي) استنتج Nissen (1974) أن امتصاص الأيون يكون متعدد الأطوار (Multi Phasic). ويستعمل هذا المصطلح لوصف امتصاص نوع الأيوني معين ، يحدث بوساطة حامل واحد فقط، بينما تعتمد انتقائية (رغبة affinity) الحامل للأيون على تركيز الأيون في الوسط الخارجي. ومنحنيات الامتصاص التي تحتوي على عدد كبير من اكتاف " Shoulders" قد لوحظت. وإذا كانت اكتاف Shoulders هي بالفعل نتيجة تغير في انتقائية (رغبة) الحامل لجذب، هذا السؤال لا يزال في مرحلة الدراسة.

11.1.3 التطورات الحديثة في الامتصاص الأيوني

يعرض المجموع الجذري السليم للنباتات سطحاً كبيراً جداً في التربة (أنظر 2.3.6)، والسؤال المهم في تغذية النبات كم هو مقدار السطح الجذري القادر على امتصاص الأيونات، وهذا تم توضيحه حديثاً. إن من المهم جداً معرفة أي من أجزاء الجذور التي تمتص وتنقل المغذيات، وهل توجد أختلافات في السلوك بين المغذيات في هذا الخصوص.

وقد طور Clarkson وزملاؤه في انجلترا الأبحاث في هذا الاتجاه. وتؤسس التقنية المستخدمة من قبل الباحثين على تعريض جزء صغير من جذر نبات سليم لنظير مشع،

بينما زود جذر الباقي النبات بنفس المحلول، ولكن بدون مصدر إشعاعي. حيث أنجز هذا بمرور النظير المشع خلال أنبوب بلاستيك المحرز (incised plastic pipe) والمحتوي على المقطع الجذري للنبات. ومن مثل هذه الدراسات يمكن توضيح الامتصاص لمجموعة المغذيات من أجزاء مختلفة من النباتات سليمة والعديد من نتائج هذه التجارب يحتمل أن تكون أهميتها لتلك الأيونات المنفردة التي تختلف في سلوكها بوضوح. والتجارب التي أجريت على جذور الشعير والكوسه بينت أن حركة الـ Ca^{2+} إلى المجموع الخضري (Shoot) مقصورة على الأجزاء الحديثة للنباتات بينما تحدث حركة البوتاسيوم والفوسفات نصف قطرية (Radial) عبر الجذر وينتقل إلى المجموع الخضري على طول الجذر. وأساس الأختلاف في سلوك Ca^{2+} من ناحية والK^{+} والفوسفات من ناحية أخرى يمكن توضيحها باعتبار تركيب الجذر وخاصةً تطور أجمة (البشرة الداخلية) الأندودرمس endodermis وأيضاً مسارات الابوبلاست (apoplast) والسمبلات (symplast) تدرس بتفصيل أكثر (2.2.4).

والشاهد على أن الـ K^{+} والفوسفات يمتصان على طول الجذر، مما يقترح بأن هذه الأيونات تحركت عبر السمبلات (symplast) ومن ناحية أخرى فإن امتصاص Ca^{2+} وانتقاله يكون مقصوراً على منطقة قمة الجذر، وهذا يدل على أن Ca يتبع مسار الابوبلاست (apoplast) . ومن الواضح إذا كانت هذه هي الحالة فإن حركة نصف قطرية لـ Ca^{2+} من القشرة إلى الجزء المركزي للجذر يجب أن مقصورة تدريجياً كلما تصبح القشرة الداخلية فلينية أكثر. والبرهان على هذا النوع فقد عرض من قبل Robands et al., 1973.

وأهمية عمل Clarkson تكمن في توطيد أرتباط واضح بين الامتصاص الأيوني

وتركيب الجذر. وإضافة إلى ذلك استعماله لنبات سليم وأخذ في الحسبان الإمكانية القوية في أن الانتقال بين المجموع الخضري والمجموع الجذري يمكن أن يعطي رسالة لتنسيق نشاط المجموع الجذري مع حاجة المجموع الخضري، وقد تكون هذه الرسائل هرمونية . أنظر (Clarkson and Hanson). لكن بجانب هذا فالتحكم في امتصاص الـNO_3^- يعتمد على تبادل الـHCO_3 من HCO_3 المشتقة من تمثيل الـNO_3^- في المجموع الخضري. وقد برهنت أو أثبتت هذه الحالة حديثاً في نبات خروع الزيت (Kirkby and Armstrong 1980). وهذه العلاقة بين المجموع الجذري والمجموع الخضري تم تجاهلها في الأبحاث المبكرة للدراسات الامتصاص الأيوني التي أستعمل فيها الباحث الجذور المستأصلة.

والجانب الأخر الذي تلقى أهتماماً كبيراً في دراسات الامتصاص الأيوني، هو استعمال التدفق لمحاليل غذائية مخففة. في التجارب الاستاتيكية الاعتيادية باستعمال بيئة مائية فإن تركيزات الأيونات فيها وخاصة الفوسفات والبوتاسيوم تكون قيمتها زائدة عن الموجود في محلول التربة (أنظر 5.3.2) وفي هذه التجارب يمكن أن يحدث تغيرات واستنزافات كثيرة في المغذيات، لذلك فإن تفسير النتائج يكون صعباً. إن استعمال المحاليل المغذية (الغذائية) بتركيزات منخفضة ولكن ثابتة يحفز تركيز أيونات في محلول التربة. فإن الإضافة المستمرة لأيونات تحل محل تلك الأيونات الممتصة بالجذر كنتيجة للطلب على المغذيات الناشئ عن نمو النبات. والتقنية التي يتم بها مراقبة الأيونات حول الجذر عن قرب وربط هذه القيم بإمتصاص المغذيات ونمو النبات تسمح بدراسة هذا الإتزان الديناميكي. وأظهرت مثل هذه التجارب أن جذور النباتات تكون كفاءتها عالية جداً وامتصاص K^+

(Wild et al., 1974) و NO_3^- (Clement et al., 1978) وأيونات أخرى (انظر Clarkson and Hanson 1980). ويبقى الآن ربط هذه الاكتشافات بنظام التربة/ نظام النبات في الحقل.

2.3 عملية البناء الضوئي وتمثيل ثاني أكسيد الكربون CO_2

1.2.3 عام

تُعرف التغذية بأنها عملية إمداد الكائنات الحية بالمواد الغذائية الأساسية وهذه المواد الغذائية لا تحتوي العناصر الكيميائية الضرورية لكل الحيوانات والكائنات الحية الدقيقة فقط، بل تكون أيضاً مصدراً للطاقة الكيميائية التي يمكن لها سد احتياجات الكائن الحي من الطاقة. وتكون الحالة مختلفة تماماً بالنسبة للنباتات الخضراء، لأن مصادر المغذيات وثاني أكسيد الكربون CO_2 والماء H_2O والأيونات غير العضوية تكون حالتها من الطاقة منخفضة، ولهذا السبب فإنها لا تكون قادرة لتلبية متطلبات النباتات من احتياجات الطاقة. وفي الحقيقة فإن تمثيل هذه المغذيات غير العضوية (معدنية) يحتاج للطاقة. وتسد النباتات الخضراء هذه الاحتياجات بامتصاص الضوء وهذه الميزة الفريدة لخلايا النباتات الخضراء على امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية مع إحدى أهم العمليات الحيوية. وكل الكائنات الحية ما عدا بعض الكائنات الحية الدقيقة تعتمد على هذه الطاقة المحولة.

إن تحويل الطاقة الضوئية إلى الطاقة الكيميائية تكون ذات علاقة وثيقة بتحويل CO_2 إلى مركبات عضوية. ومنذ عقود فإن كلا التفاعلين (تفاعل تحويل الطاقة وتفاعل تثبيت CO_2) قد حُسبا على أنها تفاعل وحد مركب كما تصفه المعادلة التالية:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{light energy}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

وقد وضع الآن تمييز واضح بين تحول الطاقة وتمثيل الـCO_2 في المصطلحات الحديثة، فإن مصطلح البناء الضوئي Photosynthesis أطلقت على العملية التي بها يمتص نظام صبغي الأنشطة الكهرومغناطيسية ويحولها إلى صور كيميائية للطاقة التي تكون متاحة للنمو تحت الظروف بيئية معينة.

2.2.3 امتصاص الضوء والتدفق الالكتروني

في النباتات الراقية يحدث امتصاص الضوء بواسطة اليخضور (الكلوروفيل) والكاروتين (الشكل 13.3). وهذه المواد هي مكونات صفائح الجرانا Grana Lamellae (ثيوكويدات Thylakoids) للبلاستيدات الخضراء (صورة 4.4)، ومميزة الفريدة لهذه الصفات تكمن في مقدرتها على امتصاص الضوء وتحويله إلى طاقة كيميائية والجزيئات الملونة الأخرى تكون أيضاً قادرة على امتصاص الضوء، ولكن الطاقة تشتت أما كحرارة أو كضوء على هيئة الاستشاع (وميض) (Fluorescence) أو على هيئة وميض فسفوري (Phosphorescence).

إن العملية الأساسية في البناء الضوئي هي امتصاص الضوء بوساطة الصبغات التي تحث على تدفق الالكتروني (الطاقة الحركية Kinetic enery)، والتي تتحول إلى طاقة كيميائية والصور النهائية للطاقة الكيميائية المتكونة من هذه العملية هي ATP و NADPH. وفي النباتات الراقية هناك نظامان مسؤولان عن تحول الطاقة، وهي النظام الأول (I) والثاني

(II). وتحتوي وحدتا التصنيع أو البناء الضوئي هذه على حوالي 400 جزيئة من اليخضور (الكلوروفيل) وصفات إضافية مثل الكاروتينات (Carotenes) والكاروتنديدات (Carotenoids) وفي بعض الطحالب توجد أيضاً صيغات الفيكوسليدنات (Phycobilins) التي تعمل كمادة ماصة للضوء. وتشمل وظائف هذه الصبغات عملية امتصاص الطاقة الضوئي، وعملية نقل لهذه الطاقة عن طريق رنين حثي (الاستجابة الحثية (inductive resonance) إلى جزئية الكلوروفيل a التي لها وظيفة استثنائية فريدة في النظام الضوئي.

β-Carotene

Lutein

Fig.3.13 Molecular structure of carotenoids, β carotene and lutein.

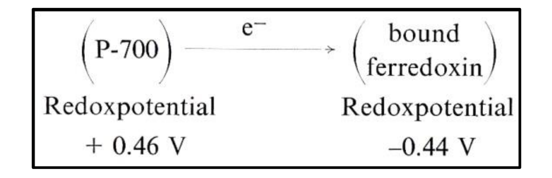
وفي النظام الضوئي I تعرف هذه الجزئية الخاصة من الكلوروفيل a (Chlorophyll a) بالصبغة (= 700– P) حيث الامتصاص الأقصى يكون عند 700 نانومتر. وتختلف P–700 عن معظم جزيئات البخضور P (الكلوروفيل P) حيث أن أقصى إمتصاص لها يكون لموجات ضوئية أطول. الطاقة الضوئية الممتصة بالكاورتينات وبالكاورتنويدات وباليخضورب (الكلوروفيل B) وبوساطة جويئات اليخضور أ (الكلوروفيل a) "المعتاد" في

النظام الضوء الأول (I) تنتقل إلى P–700 وبالتالي تسبب أنبعاث الالكترون.

$$\bar{e} + (P - 700)^{+} \leftarrow P - 700 + \text{الطاقة}$$

وهذه هي العملية الأساسية التي تُنشئ التدفق الإلكتروني، وتعمل هذه الصفات في وحدة البناء الضوئي كقمع يوجهه الطاقة الممتصة إلى جزئية واحدة من الـ P–700. وهذا يسبب حدوث أكسدة الـ P–700 وأنطلاق الالكترون.

ويُفترض أن مستقبل الالكترون في هذه العملية هو الفيريدوكسين المرتبط (bounds ferredoxin) (Trebst, 1974) والذي يكون الجهد الرودكسي (جهد الأكسدة والأختزال) له منخفض (–0.44 فولت) مقارنة بالجهد الرودكسي لل P–700 الذي يكون +0.46 فولت) لذا فإن الالكترون المقذوف من الـ P–700. يجب أن يتحرك ضد التدرج أو الانحدار الكهربائي (Electrical gradient).



وهذا الانتقال إلى الأعلى (uphill transport) يحتاج إلى طاقة والتي تُشتق في النهاية من الطاقة الضوئية الممتصة بوساطة طبقات النظام الشوئي الأول (I).

إن وظائف النظام الضوئي الثاني (II) يشابهه أو يرادف النظام الأول (I). وفي النظام الضوئي الثاني II . فإن الذي يبعث الألكترون هو أيضاً جزئية الكلوروفيل أ، ولكن في هذه الحالة يكون أقصى امتصاص عند 682 نانومتر. ولهذا السبب فهي تعرف بـ P–682. وله

مستقبل الكتروني يرمز له بQ هي مختصر لكلمة quencher التي تعني أخماد كون وجوده يطفئ (يخمد) الاستشاع الوميضي .وأقترح بأن هذا المستقبل الأساسي في النظام الضوئي الثاني II هو البلاستوكونيون Plastoquinone (Amesz, 1977) ربما أن الأكسدة والاختزال (الجهد الرودكسي). القياس Standand Redox potential له هو 0.8 فولت. فإن انتقال الالكترونات من P–682 إلى Q هو انتقال إلى الأعلى (uphill transport) يحتاج إلى طاقة من الضوء الممتص عن طريق حبيبات النظام الضوئي الثاني II.

(P-682) $\xrightarrow{e^-}$	(Q)
Redoxpotential	Redoxpotential
+ 0.8 V	–0.1 V

يعمل هذان النظامان الضوئيان في النباتات الراقية في سلسلة، وتكون كمكونان لمسار الأنتقال الألكتروني إلى تنتقل الالكترونات من الماء إلى $NADP^+$. وهذا يعني أن الماء في النهاية يكون هو معطي (المانح) الالكترون و $NADP^+$ هو مستقبل الالكترون في العملية ككل. ويبين الشكل 14.3 سلسلة نقل الالكترون وأنظمته الرودكسية (الأكسدة والاختزال (Redox Systems).

حيث يرتبط النظام الضوئي الثاني II بعلاقة وثيقة مع عملية فصل للماء الذي يساعد كمعطٍ للإلكترون والكلوروفيل P–682 في صورته المؤكسدة (P–682) هو مؤكسد قوي جداً، ولهذا يكون قادراً على أكسدة الماء (H_2O). وفي هذا التفاعل ينشق أو ينفصل الماء إلى O_2 و H^+ والكترون:

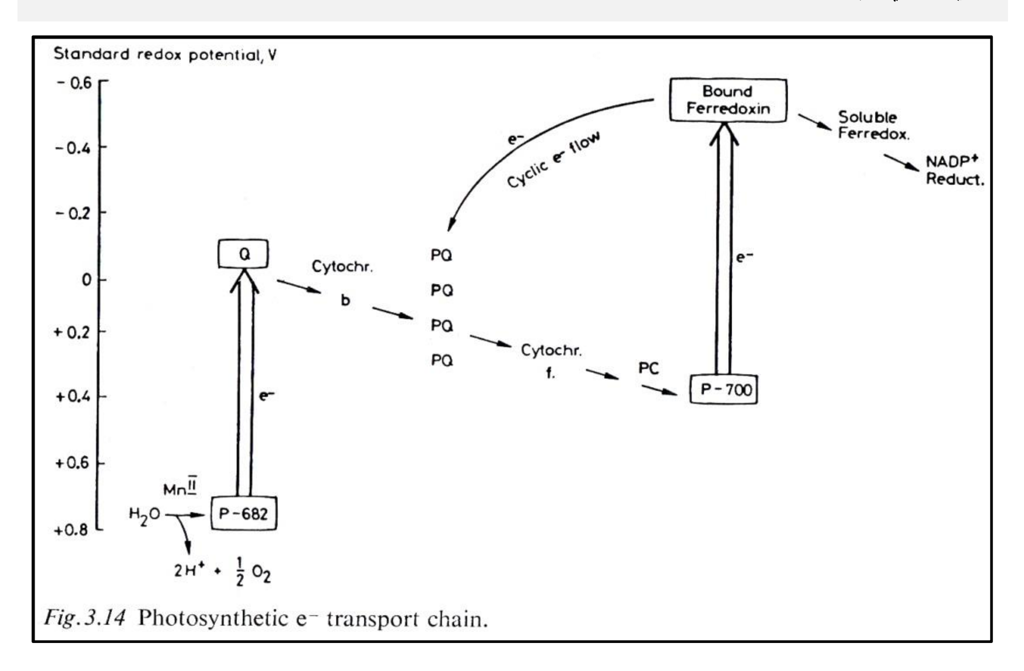


Fig. 3.14 Photosynthetic e− transport chain.

$$O_2 + \bar{e}4 + 4H^+ \leftarrow H_2O2$$

وتسمى هذه العملية بالانحلال الضوئي (تحلل ضوئي Photolysis) وهي أصل الـ O_2 الناتج من عملية البناء الضوئي. وإن الـ P–682 لا يتفاعل مباشرة مع الماء. والوسيط في هذه العملية نظام أكسدة والاختزال (الوردكسي) غير معروف (Radmer and Kok 1975) حيث يشارك في هذه العملية المنجنيز و Cl^- وصورة Mn المرتبطة في الكلوروبلاستيدات يبدو أنها تتأكسد ضوئياً ويتحول من Mn^{2+} إلى Mn^{3+} (Chenine and Martin 1971).

والالكترونات التي تأتي من خلال أكسدة الماء تنتقل إلى الكلوروفيل P –682 كما شرحنا سابقاً إلى مركب O_2 مع الجهد الأكسدة والاختزال (الرودكسي) ذي شحنة

سالبة أكثر؛ وتتحرك الالكترونات بصورة نشيطة وفعالة (energetically) إلى الأسفل (down hill) مُتبعة للجهد الأكسدة والاختزال (الرودكسي) المتزايد كما هو مبين بالشكل (14.3). وخماد (quencher) (Q) الذي سبق وأن ذكر يفترض أن البلاستوكينون (Plastoquinone) ينتقل الالكترونات إلى أسفل إلى السيتوكروم ب، (Cytochrome b) ومن نظام الرودكسي هذا إلى البلاستوكنونات (PQ) (Gramer, 1972). وتوجد هذه المركبات بكميات وفيرة في الغشاء كلوروبلاست. ونتيجة لخاصيتها في محبة الدهن (Lipiphilic) يعتقد أنها تكون أكثر حركة في الغشاء. وتستقبل أيضاً البلاستوكينونات الالكترونات من الفيريدوكسين المرتبط (Ferredoxin) كما هو موضح في الشكل 14.3. وهذه الخطوة في انتقال الالكترون تنتج سريان الالكترون الدائري الذي تسبب في عملية الفسفرة الضوئية الدائرية (Cyclic photophosphorylation). هذه العملية ستؤخذ في الاعتبار في الفصل القادم. ومن البلاستوكينونات (Plastoquinones) تنتقل الالكترونات إلى السيتوكروم ف (Cytochrom f) وبعدها إلى البلاستوسيانيين (Plastocyanin).

Plastoquinone

H_3C, H_3C — quinone ring (O, O) — $(CH_2 - CH = C(CH_3) - CH_2)n\ H$

والبلاستوسيانيين هو بروتين حامض يحتوي على ذرتي نحاس (Cu) لكل جزئ

ويطلق عليه اسم "البروتين الأزرق" وطبقاً لما جاء به (1965) Trebst and Pistoruis فإنها تنقل الألكترونات مباشرة الـ700– P المؤكسد. ومن الـ700– P يحدث نقل مرة أخرى إلى الأعلى (up hill) كما وضح سابقاً رافعة الالكترون من الجهد أكسدة والاختزال (الرودكسي) +0.46 فولت إلى الجهد الرودكسي – 0.44 فولت. وكلا هذين الانتقالين إلى الأعلى في سلسلة الانتقال الالكتروني لعملية البناء الضوئي من P–700 و P–682 المشار إليها بالأسهم العمودية في الشكل 14.3 وبسبب وجود النمط المتصرح (zigzag) لمخطط يسمى أحياناً بالمخطط Z.

إن المستقبل إليكترون للـ 700 – P يفترض أنه الفيريدوكسين المربوط. وتنتقل الاليكترونات بعد ذلك إلى الفيريودوكسين الذائب وإن الفيريودوكسنات هي بروتينات الثابتة (مستقرة) تحتوي الكبريت والحديد (Fe - S). وكما يمكن ملاحظته في الشكل 15.3 يكون Fe مرتبطاً بالتناسق مع ذرات الكبريت (S) في السستين (cysteine) وأيضاً الكبريت غير العضوي. ولهذا فهو يختلف عن السيتوكرومات، حيث أن حديد في الفيريودوكسين (ferredoxin Fe) لا يوجد على هيئة الهيم haem.

قرر Boardman 1975 بأن البلاستيدات الخضراء تحتوي على الفيرودوكسين ferredoxin في صورة ذائبة، وتحتوي أيضاً على فيرودوكسين واحد أو أكثر يكون مرتبط بالغشاء. والشكل الذائب للفيرودوكسين له وزن جزئي 12000 وتحتوي على ذرتي حديد (Fe) وذرتي كبريت (S) (سلفايد Sulphide) غير عضوي لكل جزيئ (Arnon, 1967) وفي الصورة المؤكسدة توجد ذرتا الحديد على شكل حديديك (Fe^{3+})، بينما في الصورة

المختزلة، فإن ذرة واحدة من الحديد تظهر في شكل حديديوز (Fe^{2+}). لذا يعمل الفيرودوكسين الذائب كاملاً لالكترون واحد.

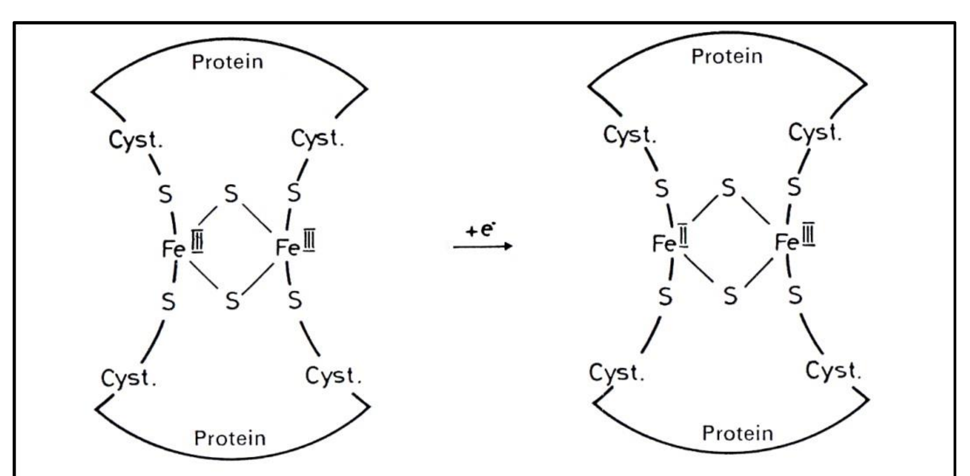


Fig. 3.15 Proposed model for the Fe-S group in soluble ferredoxin, left oxidized form, right reduced form.

والفيرودوكسين هو المركب الرودكسي الأول الثابت لسللة الانتقال الالكتروني لعملية البناء الضوئي. ويعني الجهد الرودكسي السالب (0.43 فولت) بأنه يمكن أن يختزل مواد مختلفة مثل $NADP^+$ والنتريت (Nitrite) والأكسجين O_2 والكبريتات وبروتينات الهيم (الحديد) (أنظر الشكل 16.3). في المسار للانتقال الالكتروني في عملية البناء الضوئي فإن الفيرودوكسين المختزل يتأكسد أنزيمياً بوساطة أنزيم أختزال فيرودوكسين– NADP الذي يختزل $NADP^+$ إلى NADPH. حيث ينتهي الانتقال الاليكتروني في سلسلة الانتقال الالكتروني في عملية البناء الضوئي بأختزال NADP إلى NADPH. في هذه الصورة المختزلة فإن المرافق الأنزيمي النيوكليوتن أميد آدنين ثنائي نيوكليوتيد (nicotinamide adenine

=dinucleotide $NADP^+$= صورة مؤكسدة NADPH= صورة مختزلة) تمثل مستوى طاقة على الجهد.

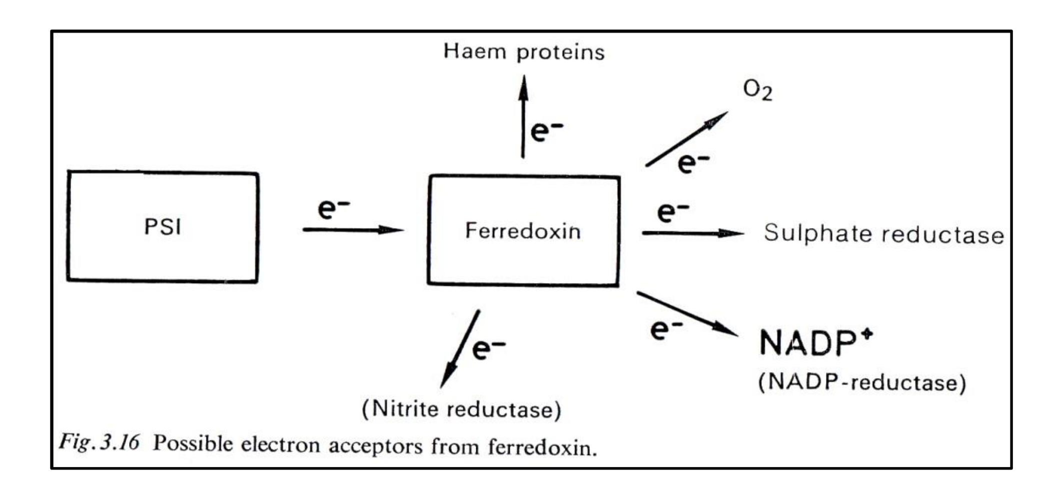


Fig. 3.16 Possible electron acceptors from ferredoxin.

ربما أن الالمترونات التي تختزل $NADP^+$ إلى NADPH هي المشتقة أصلاً من الماء (H_2O) ويمكن وصف عملية الأختزال هذه ككل بالمعادلة الآتية:

$$O_2\ ½ + H^+ + NADPH \leftarrow H_2O + NADP^+$$

وتحتاج هذه العملية endergonic تقريباً إلى 230 كيلوجول (Kj)/مول (mole) منتج ويتم الإمداد بالطاقة عن طريق الطاقة الضوئية المكتسبة بواسطة النظام الضوئي الأول I والثاني II. ويفترض أن لقذف إلكترون واحد (حالة كيموضوئية واحدة) من P–700 وأيضاً إلكترون واحد من P–682 تحتاج إلى فوتون ، وبما أن أختزال $NADP^+$ يحتاج إلى الكترونين. لذلك فإنه يحتاج إلى أربع فوتونات ولكل مول من الفوتون (= واحد انشتين = مول واحد من الفوتون) للضوء الأحمر عند طول موجي 680 نانومتر يحتوي على طاقة قدرها 176

كيلوجول. وهذه الكمية من الطاقة تزيد عن الطاقة الكيميائية المنتجة بوساطة عملية التمثيل الضوئي. وهذه الطاقة الكيميائية المنتجة هي حامل جمع الطاقة المحتاج إليها لإنتاج NADPH (220كيلوجول) وتصنيع الـATP (32 كيلومول) ولذلك فإن مخطط هو فعال من حيث الطاقة ويسمح بفقد معقول في عملية تحويل الطاقة الضوئية إلى الطاقة الكيميائية (Ualker, 1970).

3.2.3 الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation)

إن تحول الطاقة في عملية البناء الضوئي يوضح بأن الضوء يحفز في تدفق الالكترون الذي يكون قادراً على جذب الطاقة لتصنيع الـATP وأختزال $NADP^+$. وكلا الأنزيمات يحتويان على الطاقة الكيميائية التي أكتسبت أصلاً من الضوء بوساطة صبغات البلاستيدات الخضراء. ومن العمل الريادي الذي قام به Arnon وآخرون 1961، أصبح الآن معروفاً جيداً بأن الأنتقال الالكتروني في عملية البناء الضوئي ينتج عند تصنيع الـ ATP.

وهناك ثلاث فرضيات مختلفة مقترحة لتفسير آلية الانتقال المقترن بالالكترون وتصنيع ATP (الفسفرة الضوئية) فالأولى هي الفرضية الكيميائية، والتي تقترح وجودها تفاعل مباشر بين حوامل الإلكترون في لسلسة إنتقال الالكترون في عملية البناء الضوئي وأنزيما تصنيع الـATP. والتي بها تتكون نواتج وسطية عالية الطاقة.

والفرضية الثانية. طريقة التركيب حيث تقترح أن انتقال الإلكترون يعطي ارتفاعاً في تغيرت تكوين بروتينات الأنزيم الذي يسبب في حدوث الفسفرة الضوئي لـ ADP إلى ATP.

الفرضية الثالثة هي تلك التي وضعها (Mitchell (1961,1966,1978 وهي الآن مقبولة بصورة عامة. وأقترح Mitchell أن تدفق الالكترونات خلال نظام حوامل الجزيئات، والتي شرحت في الفقرة يقود البرتونات عبر غشاء البلاستيدات الخضراء وينتج عن هذا انحداراً بروتونياً كهروكيميائياً عبر الغشاء ويتركب الانحدار من مكونين هما تركيز الهيدروجين H^+ والجهد الكهربائي. وأختلاف الجهد الكهروكيميائي (القوة الحركية للبروتون Proton motive force = pmf) للإنحدار يمكن وصفه كالتالي:

$$pmf = \Delta H+ +\Psi$$

حيث أن:

ΔH= انحدار تركيز البروتون عبر الغشاء

Ψ= الانحدار الكهربائي عبر الغشاء

والطاقة الحركية للبروتون تقدم الطاقة اللازمة لعملية تصنيع الـ ATP التي عكس تفاعل أنزيم ATP-ase (Jagendorff, 1977) أنظر (5.1.3).

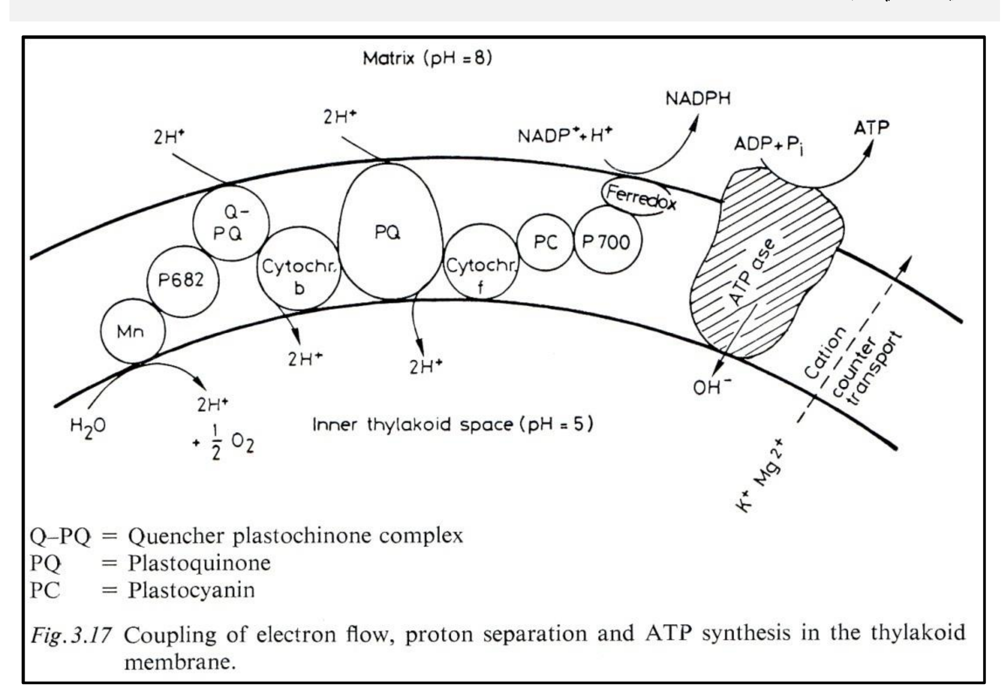
$$ADP + Pi = ATP + H_2O$$

والافتراضية الأسموكيميائية (Chemiosmotic) التنافذ الاسموزي الكيمائي التي دعمت بالدليل التجريبي. وخاصة وأن العلاقة بين تدفق الأليكتروني وتكوين تدرج (الانحدار) البروتوني هي موثقة. وبين Portis and McCarty 1974 أن معدّل الفسفرة الضوئية في البلاستيدات الخضراء تعتمد على مقدار تدرج pH عير غشاء الثيوكويدات.

إن التي نقل بها الاليكترون قادرة على تحفيز التدرج (انحدار) البروتون تعتمد على طبيعة مكونات الانتقال الالكترون ووقعها في الغشاء. والشكل 17.3 يوضح الترتيب تبعاً

للمخطط المعدل الذي أقترحه (Trebst, 1974). ويحدث أنفصال لبروتون إذا تفاعل حامل الـ+H (البلاستوكونيون Plastoquinone) مع حامل الاليكترون. ويحدث هذا عندما يُلتقط الاليكترونان العابران للغشاء من الـP682 عند سطح المادة الخارجي عن طريق البلاستوكونيون الحامل H (شكل 18.3). الالكترونات التي معها بروتونان التي أنتزعت من سطح الخارجي يختزل PQ (البلاستوكونيون) إلى PQH_2 (البلاستوهيدوكونيون) التي تهجر إلى الخلف عائدة عبر الغشاء الخلوي إلى السطح الداخلي. وهنا يطلق الـPOH_2 بروتونات داخلياً وينتقل الإليكترونات إلى سيتوكروم f. لذا ففي هذا التتابع فإن الهيدروجين ($2H^+$) ينتقل عبر غشاء الثيلاكويد من الجانب الخارجي (المادة) إلى الجانب الداخلي مع البلاستيدات الذي يعمل كمكوك، بإنتظام من السيتوكروم (b) إلى السيتوكروم (c). أثناء التحليل الضوئي كما هو موضح في الشكل 17.3 فإن البروتونين المشتقين من جزيئ الماء ينطلقان كذلك إلى حجرات الداخلية cinner compartment. ولهذا فإن تدفق الالكترون ينتج عنه إنفصال البروتون الذي يسبب في انحدار الـ pH عبر الغشاء (ΔII) وحدتين تقريباً مع الحفاظ على قيمة pH للمادة والتي تكون حوالي8.

إن الوسط القاعدي في الستروما Stroma يفصل تكوين ATP بوساطة أنزيم ATP-ase الذي يبدو أنها توضع في بروزات (نتؤات) على شكل عقد على السطح الخارجي للغشاء (أنظر الشكل 17.3) وأقترح Jagendorf 1977 أن تدرج البروتون عبر الغشاء يُمكّن الأنزيم من شق (فصل) الـADP على OH وكاتيون ADP^+ الذي يتفاعل تلقائياً مع الفوسفات غير العضوي ليكون ATP. ويفرز الـ OH إلى داخل المسافات الداخلية.



Q–PQ = Quencher plastochinone complex
PQ = Plastoquinone
PC = Plastocyanin

Fig. 3.17 Coupling of electron flow, proton separation and ATP synthesis in the thylakoid membrane.

إن انفصال ADP إلى ADP^+ و OH^+ يدعمه انخفاض الـ pH في حجيرة (غرفة) الثيلاكويد الداخلية، حيث أن OH^-، المتكون يتعادل بوساطة OH^+ الزائد. لذا فإن تصنيع الـ ATP يعمل على عدم شحن الجهد الكهربائي وتدرج الـpH عبر الغشاء، وتبعاً للمخطط الموضح أعلاه فإن تصنيع جزيئ واحد من الـ ATP يستهلك أيون واحد H^+، ولكن توجد الكثير من الدلائل التجريبية، على أن نسبة H^+ إلى ATP لا تساوي الواحد، ولكنها أكثر دلالة على أن النسبة هي 2 أو حتى 3 H^+ لكل ATP منتج (Jagendorff, 1977) وإن كان متوقعاً في نظام أنزيم الـATPase الموضح في الشكل 7.3 فإن النسبة $2H^+$/ ATP ممكن توقعها. ومن الناحية الديناميكية الحرارية فإن نسبة 3 أو حتى 4 H^+ / ATP هي متوقعة.

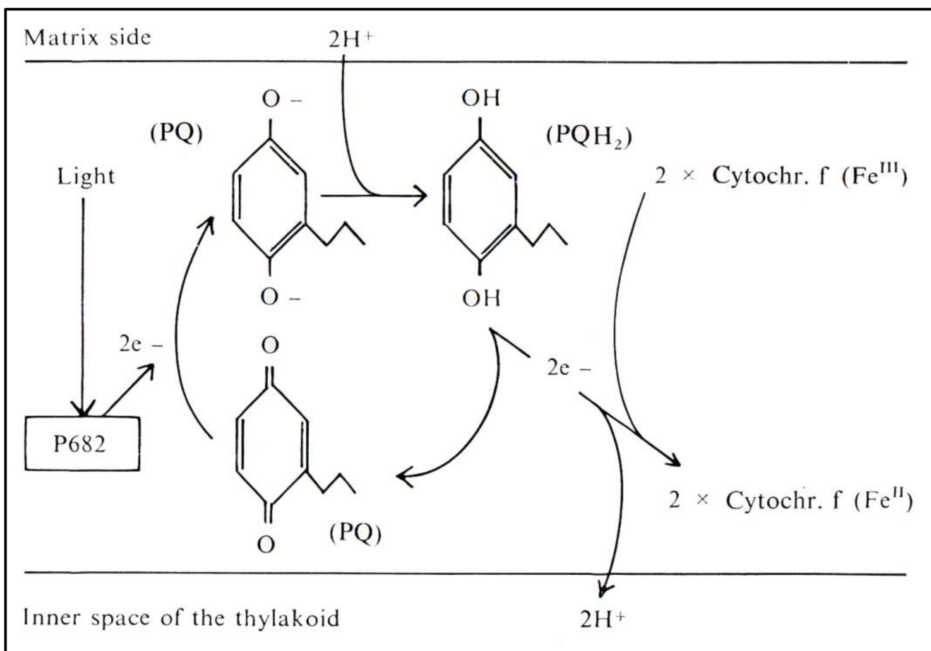
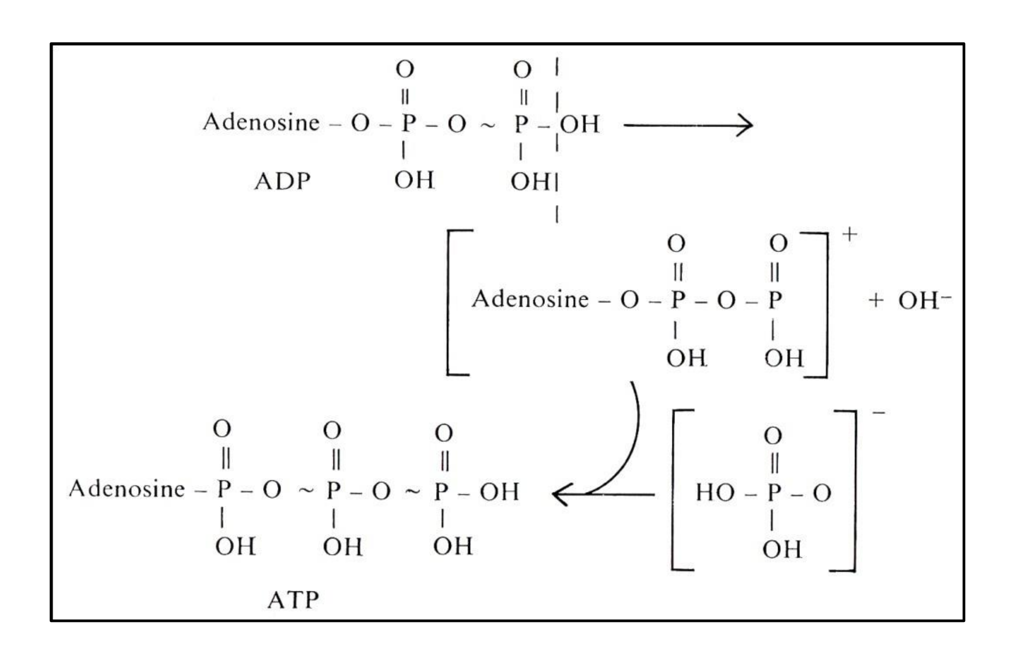


Fig.3.18 Reaction of a H-carrying redoxsystem (plastohydroquinone) with an e^--carrying redoxsystem (cytochrome f) and associated proton separation.

إن انحدار تدرج البروتون عبر أغشية الثيلاكويد يمكن أن يعتبر مخزناً للطاقة الحرة مع المكون الكيميائي (AH^+) والمكون الكهربائي (Ψ). وقياس المكون الأخير يكون صعباً. ليس فقط نتيجة تغير الجهدين حيث يلاحظ أن الأختلاف كبير (10− 100) ملمفولت ولكن هناك بعض الشكوك حول النتائج المستخلصة. وبصفة عامة يفترض أن ($H^+\Delta$) التغير في H^+ ذو أهمية لتمثيل ATP من Ψ.

إن انحدار تدرج الجهد الكهربائي يعتمد أيضاً على التدفق المضاد للكاتيونات (antiport) المحفز عن طريق إفراز الـH^+ إلى الأجزاء الداخلية للثيلاكويد، ذا فإن الضوء لا

يسبب فقط حدوث التدفق الاليكتروني في الغشاء وانفصال البروتون ولكن أيضاً يسبب في تدفق الكاتيوني إلى الستروما (Stroma) (Pfjuqer,1974) ويكون لهذا الكاتيون المعاكس



(حقل عكس المجرى) (antitransport) أهمية فسولوجية، لأنه يمنع من نشوة تدرج مرتفع كثيراً في الجهد الكهربائي > 350 ملفولت عبر الغشاء الذي سيكون ضاراً للنظام. ووجد أن الجهد الكهربائي مرتفع يبذل صغظاً عكسياً (Back Pressure) الذي يعوق تدفق الاليكتروبي. ويتحكم في التدفق الاليكتروني الـ ADP/ATP في الستروما Stroma،حيث النسبة العالية تكون معوقة، بينما النسبة المنخفضة تكون مشجعة على تكوين الـ ATP وتعدل (تضبط) الفسفرة الضوئية حسب الطلب الفسيولوجي. وإن العملية الأنزيمية الفعلية لتكوين الـATP في البناء الضوئي غير مفهومة بعد الآن، ومن الممكن جداً إلى جانب تدرج

البروتون أن يلعب تشكيل بروتين الأنزيم دوراً في الفسفرة ADP.

إن الشرط الأساسي للفرضية الأسموزية الكيميائية (Chemiosmatic) هو تدرج في البروتون عبر الغشاء. وهذا يمكن أن يحدث بوساطة انتقال الاليكترون من الماء إلى NADP كما هو موضح والمخطط في شكل 17.3. ولكن بجانب التدفق الاليكتروني الخطي، قد يظهر كذلك التدفق الاليكتروني الدائري. وفي هذا الحالة فإن الفيريدوكسين المرتبط يختزل البلاستوكنيون (PQ) الذي يقوم بتزويد إلكترونات مرة أخرى إلى سلسلة أنتقال الاليكترون في البناء الضوئي (أنظر الشكل 14.3). إن إنتقال البرتون من البلاستوكينون إلى السيتوكروم f. ينتج عنه أنفصال البرتون، كما يكون أيضاً جهداً كهربائياً عبر الغشاء. وهذا التدفق الدائري للإلكترونات يقود ما يعرف بالفسفرة الضوئي الدائرية. وأثناء هذا التدفق الأليكتروني الدائري (الدوري) لا ينتج NADPH ويمكن النظام أن يعدل احتياجاته الفسيولوجية (Arnon, 1977). وقرر كل من Ragavendra and Das (1978) أن نسبة الفسفرة الضوئية الدورية (الدائرية) إلى الفسفرة غير الدورية تزداد بزيادة شدة الضوء. ويقترح أنه تحت الظروف الضوئية العالية يكون إستهلاك NADPH مجدداً. نظراً لنقصان الCO_2 ولذلك تحتاج إلى كميات ATP أكثر نسبياً.

تحدث الفسفرة الضوئية التأكسدية في الميتاكوندريا عن طريق آلية مشابهة أو مناظرة في العملية التنفس كما في عملية البناء الضوئي حيث يحدث تدفق الالكتروني بالموازاة مع التدرج في الجهد الكهربائي المتكون من عدد نظم الأكسدة والاختزال (الرودكسي). لأن التدفق الالكتروني في عملية التنفس يكون مترافقاً مع تصنيع الATP مع استهلاك

الأكسجين، هذا يسمى بعملية الفسفرة الضوئية التأكسدية (جعلهما غير مترافقين) بعددٍ من المواد الكيميائية. وإن أكثر المود الفاصلة المعروفة للفسفرة الضوئية والتأكسدية هي 2.4dintrophenol (2.4DNP). وهناك مواد أخرى هي arsenate , ouabain وسلسلة طويلة من الأحماض الدهنية (Stoner et al., 1964). كما تفصل الفسفرة الضوئية بوساطة العديد من الكواشف التي تشكل NH_3 والامنيات الاليفاتية (aliphatic amines). وهذه المواد الكيميائية لا تؤثر بصورة مباشرة في أنتقال الالكتروني، بل أنها تثبط تصنيع الـATP. ومن المحتمل يتوقف هذا التأثير على مقدرة هذه المركبات في التقليل من التغير تركيز أيون الهيدروجين H^+ عبر الغشاء بوساطة زيادة نفاذية للغشاء لأيون الهيدروجين.

4.2.3 تمثيل CO_2 ودورة كالڤن (Cavlin)

إن عملية البناء الضوئي التي يتم فيها تمثيل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) هي العملية الأولية التي بها يتحول الكربون غير العضوي إلى صورة الكربون العضوي متزامنة مع تثبيت الطاقة القادمة من تفاعل البناء الضوئي؛ لذا فإن تمثيل CO_2 له أهمية كبرى في إنتاج المادة العضوية وأيضاً تخزين الطاقة في صورة كيميائية وتمثيل CO_2 يكون عن طريق عملية إضافة الكربوكسيل إلى الريبولوز (RuBp) بمساعدة أنزيم الكربوكسيليز Carboxylase الخاص بالريبيولوز ثنائي الفوسفات وهذا التفاعل يمكن توضيحه بالتفاعلات الموجودة في الصفحة التالية. وتكون العملية الأساسية أكثر تعقيداً من المخطط الموضح أدناه (Akazawa, 1979). ويوضح التفاعل الكلي بالإضافة إلى جزيئ الـ CO_2 فإن RuBp يقبل جزئياً واحداً من الماء، ويحتاج لتصنيع جزئين من مادة الـ3–فسفوجليسرك (Phosphoglycerate3-)

(PGA=). وطبقاً ما جاء به (Copper et al., 1969) فإن RuBp يستقبل CO_2 أكثر من HCO_3 ولفترة زمنية طويلة فإن النشاط وKm للأنزيم الذي يساعد في أضافة الكربوكسيل RuBp ظهر بأنه منخفض جداً لمعدل تمثيل ثاني أكسيد الكربون المقاس في جسم الكائن الحي (*vivo*).

ومن ناحية أخرى فإن الأبحاث الحديثة بينت أن النشاط يعتمد كثيراً على الـpH وتركيز الماغنسيوم Mg^{2+} في الستروما (Bassham, 1979). كما هو موضح في الشكل 17.3 فإن التفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي يحفز كلوريد الـMg^{2+} إلى الستروما بالتبادل مع H^+ موفراً ظروفاً مثلى لأنزيم إضافة الكربوكسيل إلى RuBp، وإن النشاطات الحاصلة تحت هذه الظروف تتفق جيداً مع معدّلات تمثيل الـ CO_2 الموجود في *vivo* الكائن الحي (Kelly et al., 1976). وتفاعل إضافة الكربوكسيل هو تفاعل exergenic.

ولهذا السبب فإنه لا يحتاج إلى طاقة إضافية والأنزيم الذي يساعد عملية أضافة الكربوكسيل RuBp هو الذي يختزل الخطوة الأولى للتفاعلات الدورية المتتابعة التي شرحها كالفن ومساعدوه Calvin, 1956 و Bassham and Calvin, 1957 . وكل هذه الأنزيمات المحفزة للخطوات المختلفة لهذه الدورة تقع في الستروما (Stroma) في البلاستيدات الخضراء. وتحتاج الخطوتان اللاحقتان لتفاعل إضافة الكربوكسيل إلى الطاقة ي صورة ATP و NADPH وتكون هذه هي المرحلة في عملية تمثيل الـ CO_2 التي عندها تُطلب النواتج التي تكونت أثناء التفاعل الضوئي (انظر الشكل 17.3). حيث يختزل الفسفور جليسران (Phosphoglycerate-PGA) إلى3- فسفورجليسرلدهيد وهذا هو السكر الأول فوسفات

الترايوز (triose phosphate) الذي يتكون في تتابع تفاعلات كمثيل CO_2

$CH_2 - O(P)$
|
$C = O$
|
$HC - OH$
|
$HC - OH$
|
$CH_2 - O(P)$

Ribulose bisphosphate
(RuBP)

$\rightleftharpoons$

$CH_2 - O(P)$
|
$C - OH$
||
$C - OH$
|
$HC - OH$
|
$CH_2 - O(P)$

Isomer of
ribulose bisphosphate

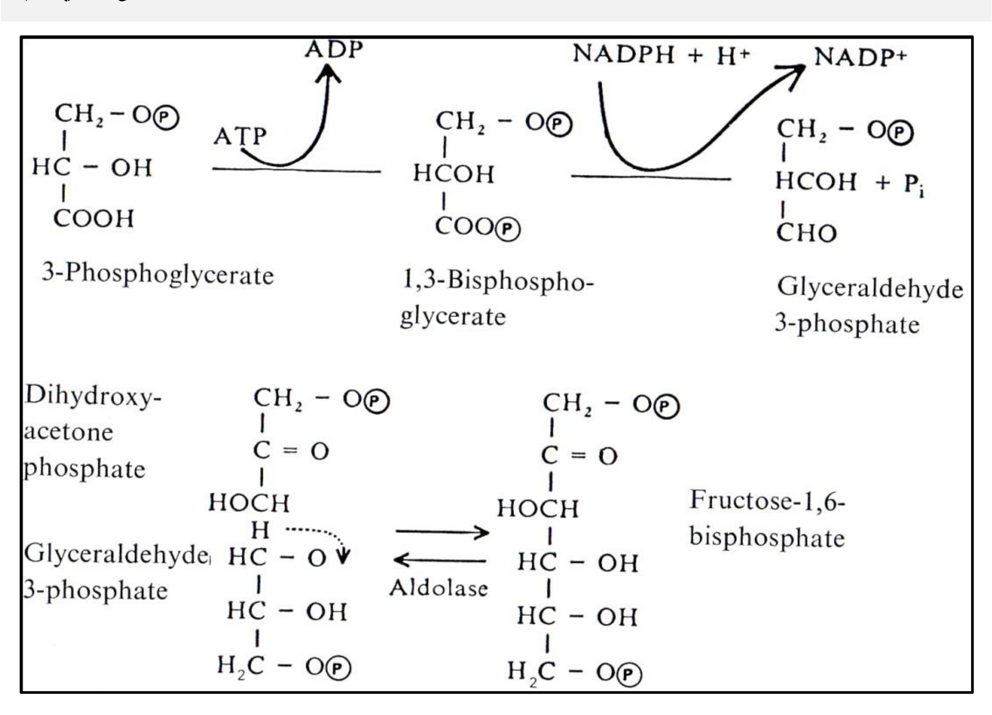
$CH_2 - O(P)$
|
$C - OH$
$\not|\ - - - - - - - CO_2 + H_2O - - - \rightarrow$
$C - OH$
|
$HC - OH$
|
$CH_2 - O(P)$

$CH_2 - O(P)$
|
$HC - OH$
|
$COOH$

$COOH$
|
$HC - OH$
|
$CH_2 - O(P)$

3 – Phosphoglycerate

$$RuBP + CO_2 + H_2O \rightarrow 2 \times PGA$$



إن 3- فسفوجليسرلدهيد (zGlyceraldehyde 3) وهو الناتج الأولى في تكوين السكريات، حيث أن كل جزئية تتحول إلى مركب مشابهة لـ (dihydroxyacetone Phosphate) وفي وجود أنزيم الالدولينز Aldolase فإن كلا الجزيئين يتفاعلان ليكونا سكر الفركتوز 6,1 ثنائي الفوسفات الذي هو الهكسوز المفسفر (Phosphorylated hexose).

إن سكر الفركتوز 6,1 ثنائي الفوسفات هي المادة التي تشكل منها السكرات السداسية، التي تشمل الجلوكوز ومركباتها بوليمراتها العديدة. إن سلسلة التفاعلات المباشرة يمكن تتبعها من بداية تمثيل CO_2 عن طريق فوسفات الترايوز إلى سكر الفركتوز 1-6 ثنائي الفوسفات وكل الكربوهيدرات الأخرى. وبعض هذه المركبات مثل النشا والسكروز والأنيولين

هي مركبات مخزنة للطاقة، بينما المواد الأخرى مثل السليلوز والهيميسليلوز والبكتينات تلعب دوراً مهماً كمكونات في تركيب بناء الخلية. حيث يمكن استعمال فوسفات الترايوز إما في بناء الكربوهيدرات التي يحتاج إليها في عمليات الأيض أو في إعادة تكوين سكر الريبولوز ثنائي الفوسفات المستقبل ثنائي أكسيد الكربون CO_2. وأن سلسلة المتتالية من التفاعلات التي بها يعاد تخليق (تكوين) سكر ثنائي الفوسفات RuDp والتي تعرف بدورة كالڤن (Calvin cycle) وهذه مبين في الشكل 19.3 ،وإن إعادة تصنيع (التلوين) هي عملية معقدة ،تشارك فيها الفوسفات السكرية بأعداد مختلفة من ذرات الكربون المشاركة.وبمتابعة سلسلة التفاعلات كما هو موضح في الخطوة (1) في الشكل 19.3 يمكن ملاحظة أن جزئيتي فوسفات الترايوز تكثفا (يتجمعا) لتكوين جزئية واحدة من سكر الفركتوز ثنائي الفوسفات وبانفصال (بأنشقاق) مجموعة فوسفات تتحول سكر الفركتوز أحادي الفوسفات. في التفاعل (2) جزئية واحدة من فوسفات تيتروز (tetrose phosphate) تتفاعل مع الفركتوز أحادي الفوسفات ليكون فوسفات تيتروز (tetrose phosphate) وفوسفات البنتوز (pentose phosphate) وفوسفات الكسليلوز (xylose phosphate) وفوسفات يراتوز فوسفات (erythose phosphate) وجزئية أخري من فوسفات الترايوز تتكثف لتكون فوسفات ثنائي الهيبتوز (heptose phosphate) فوسفات ثنائي سيدوهبتوليز (sedoheptulose biphosphate) كما هو موضح بالتفاعل (3).

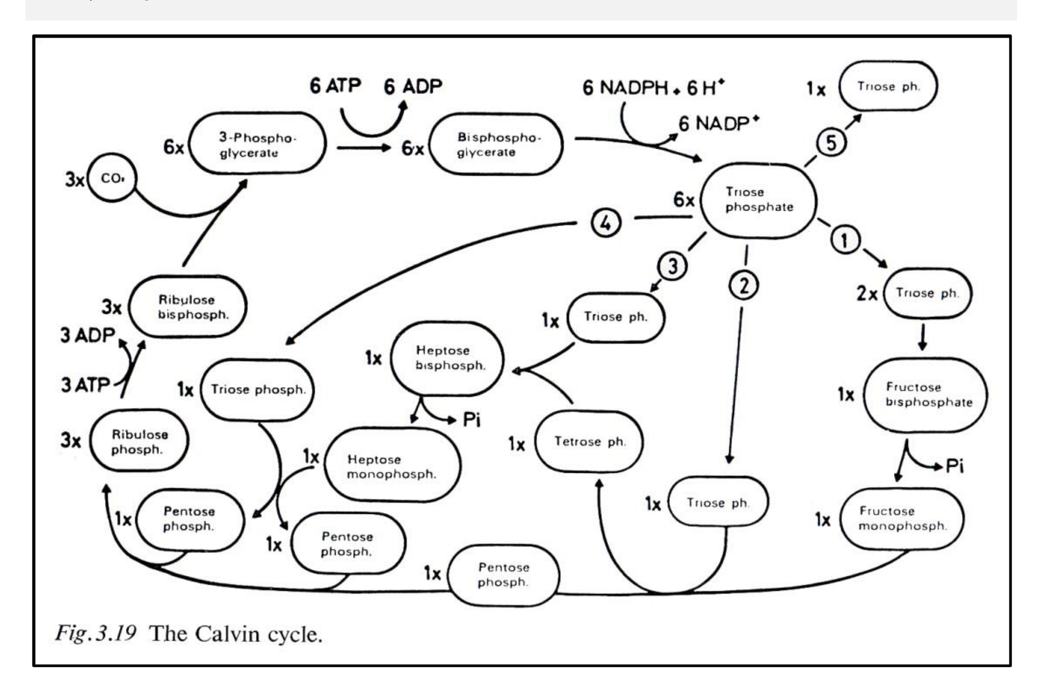


Fig.3.19 The Calvin cycle.

تنفصل (تنشق) مجموعة الفوسفات الهبتوز ثنائي فوسفات مكونة بذلك هبتوز أحادي الفوسفات، وهذه بدورها تتفاعل مع جزئية أخري من فوسفات الترايوز (triose) كما هو موضح في التفاعل (4) لتعطي أثنين من فوسفات الريبولوز (ribose phosphate) وكل خطوات التفاعل هذه ينتج عنها في النهاية تكوين فوسفات البنتوز (pentose phosphate) التي بدورها تتحول إلى زيبولوز أحادي الفوسفات (isomer ribulose menophosphhale) مشابه (مماثل). وفي كل دورة تفاعل تتحول خمس جزئيات فوسفات الترايوز إلى ثلاثة جزئيات فوسفات البنتوز.وهذه تفسفر بوساطة الـATP مكونة الريبيولوز ثنائي الفوسفات المستقبل الأولي ثنائي أكسيد الكربون

والعملية يمكن أن تكتب في مجملها كما يلي:

$$Co_2 + 3(C_5) \rightarrow 6(C_3) \rightarrow 1(C_3) \rightarrow 3(C_5)3$$

ولتمثيل ثلاثة جزئيات من Co_2 تحتاج إلى تسعة جزئيات من الـ ATP وستة جزئيات من NADPH. لذا فانه تمثيل جزئي واحد من ثاني أكسيد الكربون CO_2 تكون هناك حاجة إلى ثلاثة جزئيات ATP وجزئين NADPH.وهذا يبين أن العملية تحتاج إلى ATP أكثر من NADPH.ومن أجل الإمداد بهذه النسبة يجب أن تحدث كل من الفسفره الضوئية دائرية وعملية الفسفره الضوئية غير الدائرية تمد فقط NADPH/ATP بنسبة 1:1 (الشكل 17.3). ويمكن الفسفره الضوئية تنظيم إلى نسبة NADPH/ATP التي تحتاج إليها في دورة اختزال الكربون.

إن المستويات من الـ NADPH والـATP هي التي تنظم دورة كالفن . وفي الظلام ينخفض تركيز ATP و NADPH في البلاستيدات الخضراء وهذا لأيون بأن الاختزال 3-فوسفوجليسرات يقف فحسب، بل يحصل تفاعلاً عكسياً أي تتم أكسدة فوسفات الترايوزز إلى 3-فوسفوجليسرات (Lendzian and Busshan,1976) ولذلك فإن تحت ظروف الظلام يكون سكر الفركتوز ثنائي فوسفات bisphosphale Phosphate وسيدوهيبتيلوز (Sedoheptulose) غير نشطين وبذلك تكبح دورة كالفن وعند إطفاء الضوء يشاهد ظهور 6-فسفوجليكونيت مباشرة. تعرف هذه الأواسط بدورة أكسدة فوسفات بنتوز الوسطية والتي فيها يتحلل فوسفات الهكسوز، وأخيراً يتوسط مسار الجلولات (أنظر أدناه) وذلك لأن ظروف الظلام تسهل عملية التنفس، ويتأكسد النشا المتراكم في البلاستيدات الخضراء، بينما تحت الظروف الضوئية فإن بعض فوسفات الترايوز (triose phosphate)

المنتج يتحول إلى النشا وتخزن في البلاستيدات الخضراء وعلى عكس دورة فوسفات البنتوز التأكسدية (دورة OPP) فإن دورة كالڤن تتميز بخطوة الأختزال، ولهذا السبب تعرف بدورة فوسفات البنتواز الأختزالية (دورة RPP).

5.2.3 عملية التنفس الضوئي ومسار الجليكولات

ليست كل الطاقة والقوة المختزلة الناتجة من مسار عملية البناء الضوئي المشروحة خطواتها أعلاه يمكن أن يستفاد منها تماماً بالنباتات. وقد وضح أنه على الرغم من وجود صافي امتصاص لثاني أكسيد الكربون CO_2 من قبل النباتات الخضراء يحدث تدفق للـCO_2 إلى الخارج والذي تكون كميته في الضوء أكبر مما يحدث في الظلام ويصحبه تحفيز لامتصاص الأكسجين O_2 . ويسمى التنفس المحفز للضوء بالتنفس الضوئي photorespiration.

إن مسار C_2 (مسار الجليكولات) في عملية التنفس الضوئي موضحة في الشكل 20.3. فإن الخطوات المفردة القائمة بذاتها لسلسلة لهذا التفاعل ثنائي الفوسفات (rusp) Carboxylase هو الأنزيم المسؤول على تمثيل الـ CO_2 وهو أيضاً أول أنزيم مسار الجليكولات (مسار= C-2). بالإضافة كذلك عملية إضافة مجموعة الكبركسلين، فإنه أيضاً أنزيم يعيق الأكسجين (oxygenas) أي يمكن أن يؤكسد RuBp خصوصاً تحت الظروف التي يوجد فيها الـO_2 بكميات وافرة وثاني أكسيد الكربون CO_2 بتركيزات منخفضة.

كما مبين في الشكل 20.3 فإن الخطوة الأولى (**التفاعل 1**) هي انقسام RuBp إلى الفوسفور جليكولات والفوسفوجليسرات. وفي هذه الخطوة يكون تفاعل أنزيم الأكسجين ونستهلك جزئياً واحداً من O_2 لفصل كل جزئية واحدة من الـRuBp والفوسفوجليسرات

الناتج وهو أيضي في دورة كالفن ويمكن أن تختزل إلى 3 فسفوجليسرلدهيد. ويتحول الفوسفور جليكولات إلى جليكولات بوساطة أنزيم الفوساتيز Phosphatase تنشق (تنفصل) إلى فوسفات غير عضوي **(تفاعل 2)**. والجليكولات المتكونة يمكن أن تنطلق عن طريق البلاستيدات الخضراء، وتدخل البروأكسيزوم (Peroxisome). والبروأكسيزومات هي جسيمات دقيقة ذات علاقة مستمرة مع البلاستيدات الخضراء مفصولة عن السيتوبلازم بواسطة غشاء، وتحتوي البيروأكسيزومات عدداً من أنزيمات تتضمن أنزيمات الأوكسيديز وأنزيم الكاليتز. وفي البروأكسيزوم تتأكسد الجليكولات (glycollate) إلى الجلاياكستات (glyoxylate) بواسطة أنزيم أوكسيديز الجليكولات **(تفاعل 3)** ويستهلك التفاعل جزئياً واحداً من O_2 وينتج جزئية واحدة من H_2O_2 لكل جزئية جليكولات مؤكسدة. وتنفصل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 المتكون إلى ½ O_2 وماء H_2O بوساطة أنزيم الكالتيز (catalase) **(تفاعل 4)**. وبعد ذلك تضاف مجموعة الأمين (amine) بواسطة أنزيم الأمين aminotransferase ويتحول الخلايأوكسلات (glyoxylate) إلى الجليسين glycine

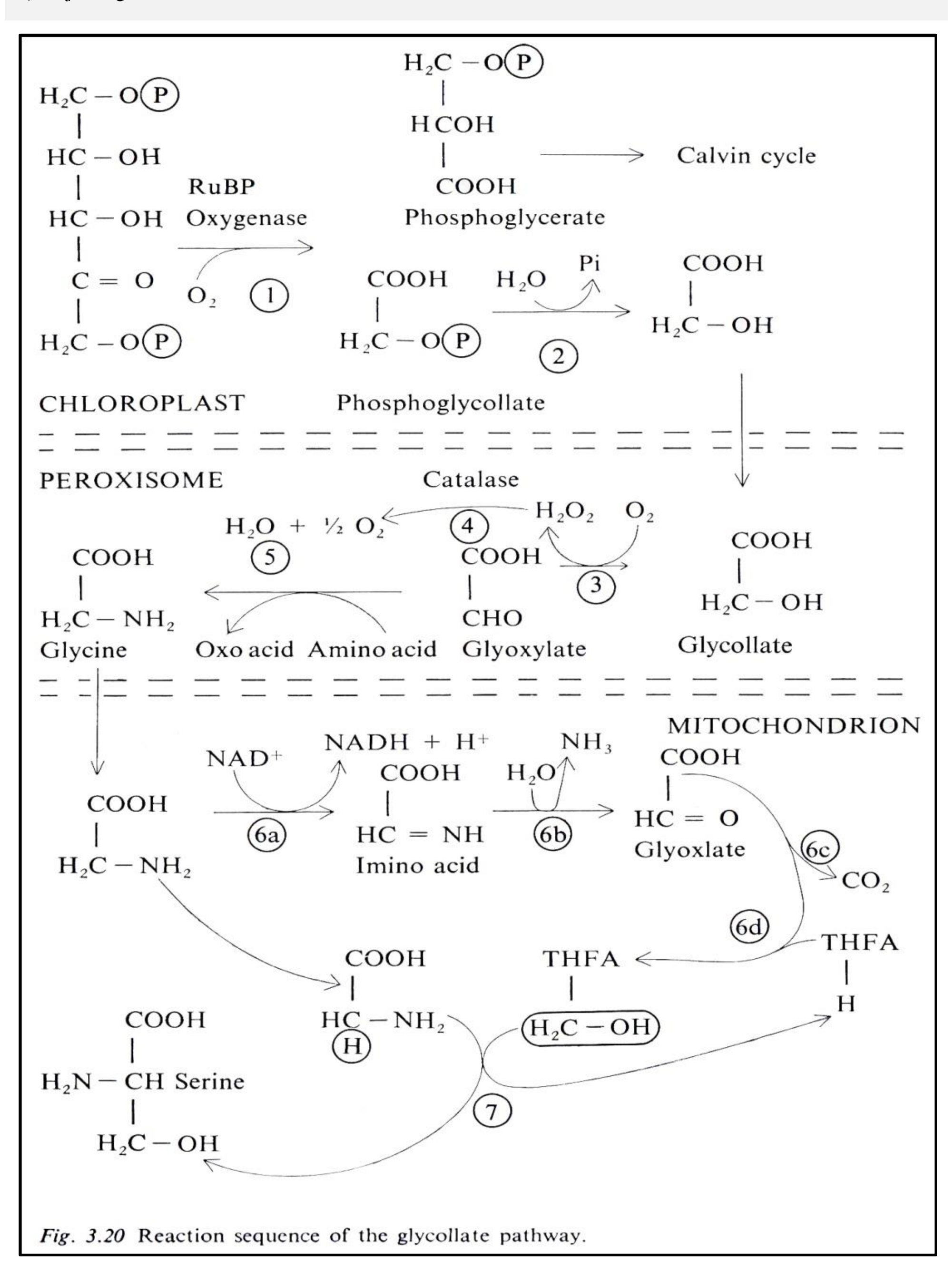


Fig. 3.20 Reaction sequence of the glycollate pathway.

(تفاعل 5) الجليسين المتكون يمكن أن ينتقل إلى الميتوكوندريا حيث يتعرض إلى عملية نزع مجموعة الكربوكسيل التأكسدية (oxidative decarylation) وهذا التفاعل الذي يمكن أن ينقسم إلى عدة خطوات: في الخطوة الأولى (تفاعل 6أ) يتأكسد الجليسين (نزع الهيدروجين dehydrogenated) بوساطة أنزيم الجليسين ديهدوجيينز مكوناً مقابله حامض الأمين (imino acid) في الخطوة الثانية (تفاعل 6 ب) يتم نزع مجموعة الأمينات من حامض imino وبذلك تحرر الأمونيا ويتكون جزيئ لجلاياكستلات (glyoxylate) ويتحلل هذا المركب ثنائي الكربون (2−) إلى مكونات أحادية الكربون (1−) وهي CO_2 بالتحديد = (H-OH) بوساطة عملية نزع مجموعة الكربوكسلية (decarboxylation) (تفاعل 6ج) (H-OH) المتفرع يتحول إلى حامض تتدهيدوفوليك (tetrahydrofolic acid) هو مرافق أنزيمي تتضمنه عملية المحاميع أحادية الكربون (C-1) (تفاعل 6 د) ويتحول THFA هذه المجموعات C-1 (hydroxymethyl) إلى جزيء جليسين (glycine) آخر يتكون بذلك السيرين Serine (تفاعل 7). ويمكن أن يتحول بعد ذلك السيرين بسلسلة من الخطوات إلى فسفوجلايسرات (Phosphoglycerate) الذي يمكن أن يؤخذ عن طريق دورة كالفن.

ومن تتابع التفاعل في مسار الجليكولات كما هي موضحة في الشكل 20.3 يكون واضحاً بأنه في هذا المسار يتم امتصاص الO_2 ويتحرر الCO_2 والماء H_2O وNH_3. وفي النهاية ينتج عن هذا فقد الكربون العضوي والنتروجين المرتبط عضوياً. حيث يبدو بأن عملية التنفس الضوئي بأنها عملية تلف (فقد وخسارة)، ويمكن أن تعرف ما يقارب 50% من الكربون (C) الذي يتم تمثيله. الأهمية الفسيولوجية لهذه العملية غير واضحة حتى الآن.

وهناك اقتراحات على أنها مهمة في عملية تصنيع الحامض الأميني، وتصريف القوة الأختزالية الزائدة أو حماية النبات الشحنة العالية للأكسجين O_2. Jackson and Volk, 1970, Tobert,1979, Zelitch (1979). وقد وضح Woolhouse, 1970 تأثيرات التنفس الضوئي على أنتاج المحاصيل. وينبغي التأكد بأنه في الجزء النهائي من مسار الجلايكولات في الميتوكوندريا تنطلق الامونيا (NH_3) نتيجة تحلل الجلسين glycine (تفاعل 6 ب) ويعتقد بأن هذه الأمونيا يعاد تمثيلها (Keys et al., 1978) وعندما يكون التحلل في مسار الجلايكولات عالياً جداً تحت الظروف المثلى الملائمة فإنه من المحتمل أن بعض الأمونيا المنتجة ربما تنطلق إلى الغلاف الجوي. وهذا الأقتراح يتوافق مع النتائج الحديثة (Stutte et al., 1979)، الذي وجد أن الفقد في غاز N في نباتات فول الصويا زاد طردياً (خطياً) مع زيادة في درجة الحرارة.

وتتأثر عملية التنفس الضوئي (الفسفرة الضوئية) بشكل ملحوظ بالعوامل الخارجية وبصفة عامة فإن كل العوامل المرغوبة للتفاعل الضوئي لعملية البناء الضوئي مثل شدة الضوء العالية وأرتفاع درجة الحرارة تؤدي إلى ظروفاً مرغوبة لأحل مسار الجليكولات. وينتج من شدة الضوء العالية المتحدة مع درجة الحرارة العالية كميات كبيرة من السكر RuBP. وهذه تكون متشاركة مع مستويات عالية من الـO_2 المنتج بوساطة الانحلال الضوئي، فمستوى منخفض لثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يكون نتيجة المعدلات للـCO_2 التمثيل العالية، وهذه الظروف هي التي تشجع تفاعلات مسار الجليكولات، وبالإضافة لذلك فعندما يكون نشاط البناء الضوئي مرتفعاً تؤدي إلى زيادة تركيز الماغنسيوم Mg^{2+} وإلى ارتفاع مستوى pH

في الستروما في البلاستيدات الخضراء، وهذه الظروف ضرورية لنشاط أنزيم الفوسفاتيز للفوسفوجليكولات (الشكل 20.3 تفاعل 2). وظروف السرتوما stromal هذه تقدم آلية تنظيمية لتشغيل الأنزيم ومسار جليكولات تحت الظروف الضوئية والأغلاف تحت ظروف الظلام.

إخماد عملية الفسفرة الضوئية بوساطة مثبط مثل glycidate (2,3- epoxyropioate) ينتج عن صافي زيادة في تمثيل الـ CO_2 إذا ما كان Glycidate هو مثبطاً بالفعل لفسفرة الضوئية، هذا أمر مشكوك فيه من قبل (Poskute and Kochanska (1953)) حيث وجدا أن glycidate يشجع كل من صافي تمثيل الـ CO_2. والفسفرة الضوئية وطبقاً لما جاء به Zelitch, 1979 فإن النواتج مثل glutamate و asparate والجلايكسدات glycoxylate هي مثبطات طبيعية لعملية التنفس الضوئي (الفسفرة الضوئية - photorespration).

يعتبر ثاني أكسيد الكربون CO_2 هو أهم مثبط طبيعي للتنفس الضوئي (الفسفرة الضوئية) في نباتات الـ C-4.، هي مجموعة أنواع النباتية سنأخذها في الأعتبار وبتفصيل أكثر في الفقرة القادمة، ففي هذه الأنواع من النباتات فإن تركيز CO_2 العالي يكون سائداً في هذه البلاستيدات التي تحدث فيها تفاعلات دورة كالفن وهذا التركيز العالي لثاني أكسيد الكربون CO_2 نتج من آلية خاصة في أقتناص CO_2 (أنظر الشكل 21.3).

6.2.3 مسار C-4

إن سكر الريبولوز ثنائي الفوسفات ليس هو المستقبل الوحيد لثاني أكسيد الكربون

CO_2 في عملية البناء الضوئي. في مدى واسع نسبياً من أنواع نباتية مختلفة، والتي تشمل الذرة، وقصب السكر، والأعشاب الاستوائية، وأيضاً بعض أنواع الأعشاب المناطق المعتدلة، ويكون المستقبل الأولي لثاني أكسيد الكربون هو فسفوانيول بيروفيت (Phosphoenol pyruvate) (PEP). وتتميز هذه الأنواع بصورة خاصة بعملية أضافة مجموعة الكربوكسيل (Carboxylation) (تمثيل CO_2). ونزع مجموعة الكربوكسيل (decarboxylation) (تحرر ثاني أكسيد الكربون CO_2). وتحدث هاتان العمليتان في مواقع مختلفة لخلايا الورقة، حيث تكون الأولى في النسيج الوسطي (mesophyll) والثانية تكون موجودة في خلايا الغلاف الحزمة (الضفيرة). وفي معظم أنواع النباتات التي لها مسار C-4 فعّال (نباتات C4) وهذان النوعان من الخلايا مرتبة تسمى kranz لتركيب الورقة التشريحي. وهذا التشريح مبين في صورة (1.3). وتشمل الأنسجة الوعائية الورقية حزم اللحاء والخشب المحاطة بالغلاف حزن الخلايا الكبيرة. مكونة بالفعل ضفيرة kranz أو إلكيل (wreath) وتحيط حزم غلاف الخلايا بواسطة طبقتين من خلايا النسيج الوسطي Messophyll التي تعمل بها دورة C-4 ويتفاعل $HCO_3^- + H^+$ مع فسفوإنيول بيروفيت phosphoenol pyruvate (PEP) وهذه تعطي الأواسط الرئيسية C-4 (ك4) والأكسالوخليات (OAA).

$$\underset{\text{Phospho-enolpyruvate (PEP)}}{\begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ C - O\text{Ⓟ} \\ | \\ COOH \end{array}} \xrightarrow[\text{PEP-Carboxylase}]{HCO_3^- + H^+} \underset{\text{Oxaloacetate (OAA)}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C = O \\ | \\ COOH \end{array}} + P_i$$

وإن الإنزيم المحفز في التفاعل هو أنزيم كربوكسيليز فسفوإنيول حمض البروفيك PEP carboxylase. وهذا التفاعل الذي يكون ذا تأثير قوي في تثبيت CO_2 حيث تنفصل روابط الفوسفات ذات الطاقة العالية من PEP. وفي سلسلة تفاعل التثبيت تتحول الأوكسالوخليات oxalocetate إلى حامض رباعي الكربون C4 آخر ويحدث هذا إما بالأختزال حيث يتكون الماليت malate أو بوساطة transamination من أجل إنتاج الأسبرتيت asparete وبسبب مشاركة هذه الأحماض رباعية الكربون كمواد منتجة لفوسفات السكر فإن هذا النوع تثبت CO_2 بالتمثيل الضوئي يعرف بمسار أو مسلك أو طريقة C4 لتميزها عن النباتات الأعتيادية بنباتات C4 التي فيها يكون PGA هو الناتج الأولي (الرئيسي) من عملية التثبيت و RuBp هو المستقبل الأولي (الرئيسي) لثاني أكسيد الكربون.

وبصفة عامة أصبح الآن مقبولاً أن مسار نباتات C4 نتيجة أعمال Hatch وزملائه المبين في الشكل 21.3 (Slack and Hatch 1967) و (Andrews and Hatch, 1971).

(1) أن PEP يتكون بواسطة فسفرة البيروفيت مع ATP و Pi وإن إعادة التكوين الدوري لـPEP يعتمد ATP الذي يحتاج إلى أنزيم كينيز فوسفات جامض البروفيك

Pyarvate phosphate dikinase ويوجد هذا الأنزيم في نباتات C4 وأثناء التفاعل فإن ATP ينفصل أدينوسين أحادي الفوسفات (AMP) الموضح بالعلاقة (p) ~ (p).

(2) PEP يتفاعل مع بيكربونات HCO_3 و H^+ ليكون الأوكساخليت Oxalacetate كما شرحت من قبل. ويشار إلى CO_2 المتمثل بالعلاقة المشابهة بشكل النجمة *.

(3) وإن الاوكساخليلت ربما تختزل إلى ماليت malate بواسطة NADPH وهو ماليت الديهيدوجينيز malate dehydrogenase.

(4) ربما تنتقل أو يتحول الاوكياخليلت Oxalacetate إلى الاسبريتيت asparate بوساطة أنزيم الاسبريتيت aminotranterase وفي هذه الحالة يكون تمثيل CO_2 مربوطاً مباشرة إلى العمليات الأيضية بالأحماض الأمينية.

(5) الماليت malate المتكون في التفاعل (3) نزع الكربون بواسطة NADPH أنزيم الماليك المتخصص ليكون CO_2 والبيروفيت pyruvate.

ويعاد البروفيت مرة أخرى في الدورة كما هو موضح في خطوة (1) و CO_2 يثبت بواسطة RuBp ويتحول إلى PGA وتدخل في عمليات الأيض في دور كما سبق وأن شرحت أعلاه (الشكل 19.3). وتفاصيل مسار الدورة والأنظمة الأنزيمية المشاركة قد شرحت من قبل Kelly et al., 1976, Ray and Black 1979 and Coombs, 1979.

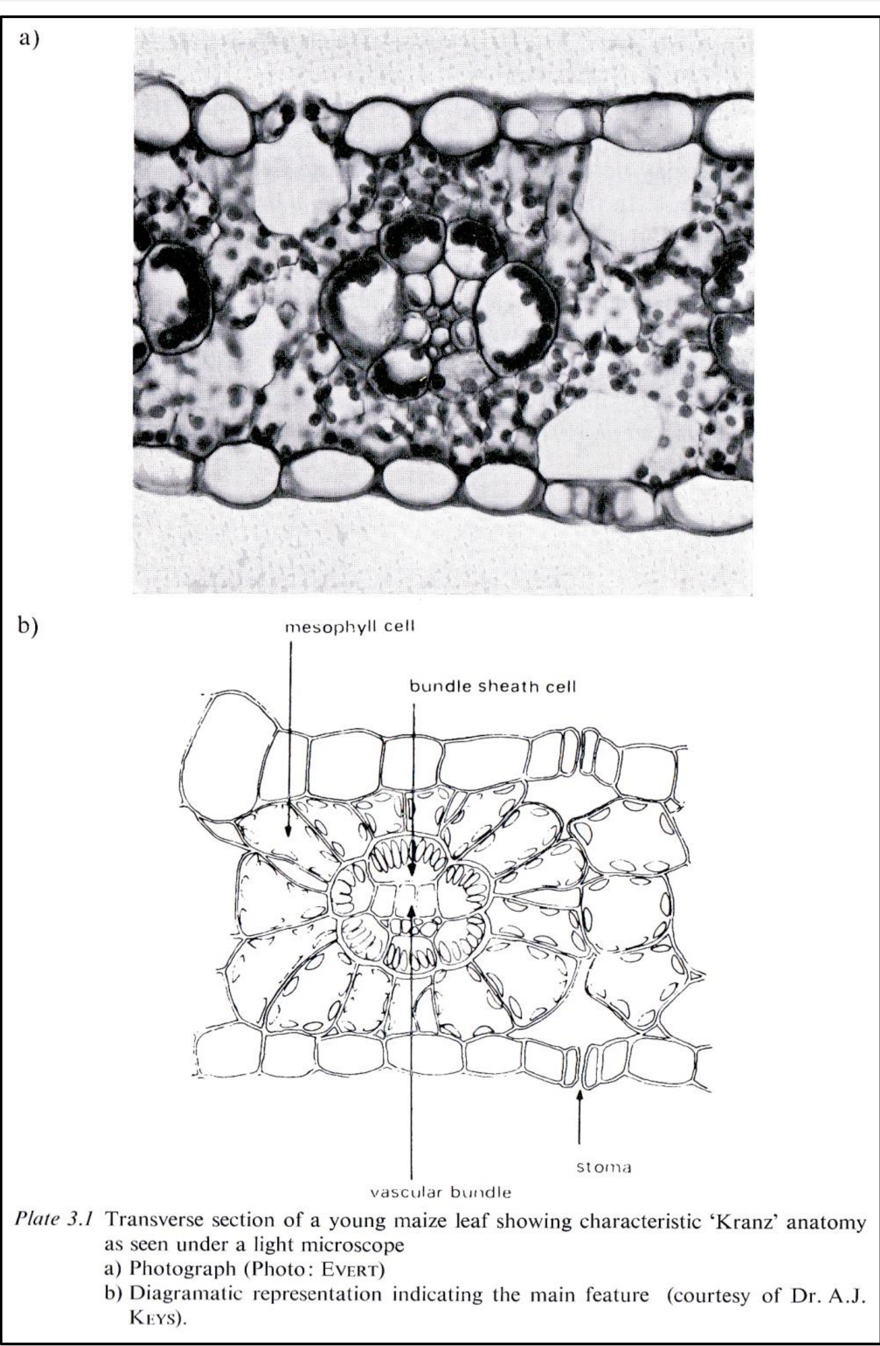


Plate 3.1 Transverse section of a young maize leaf showing characteristic 'Kranz' anatomy as seen under a light microscope
a) Photograph (Photo: EVERT)
b) Diagramatic representation indicating the main feature (courtesy of Dr. A.J. KEYS).

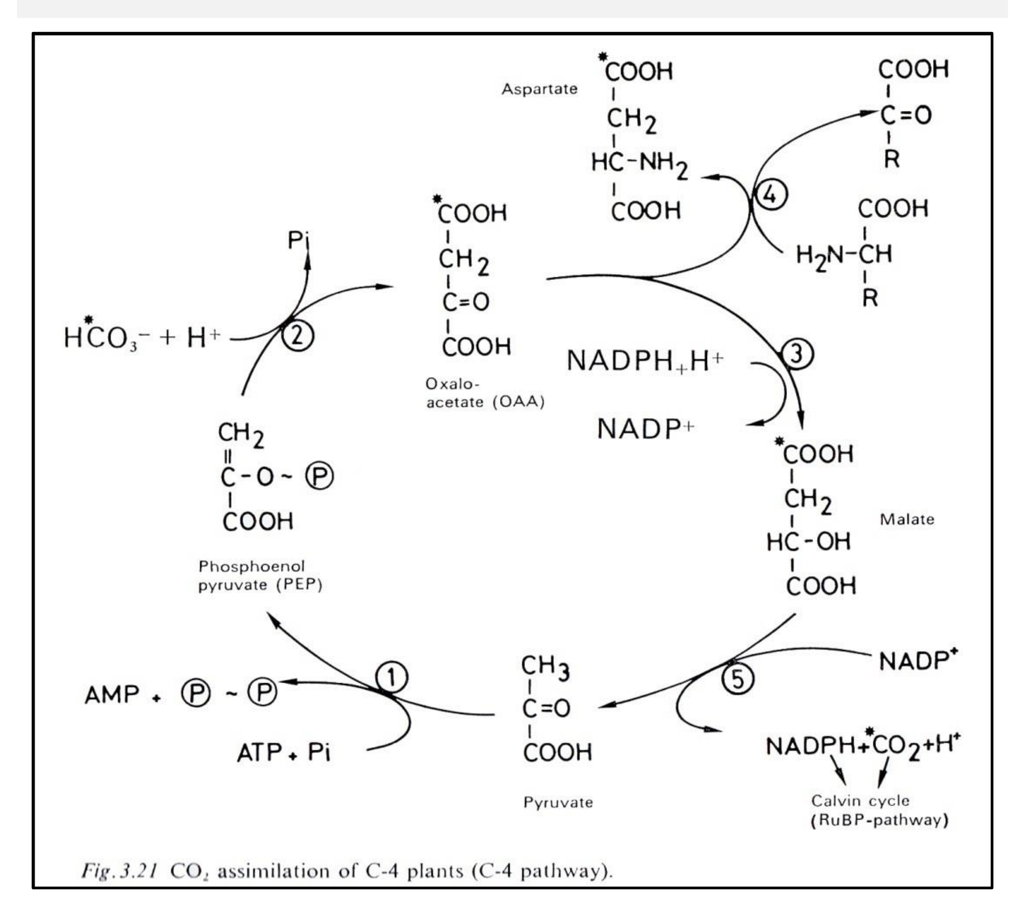
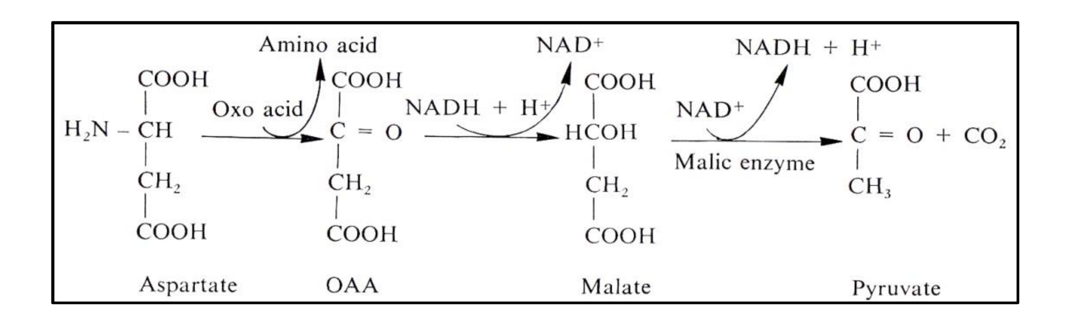


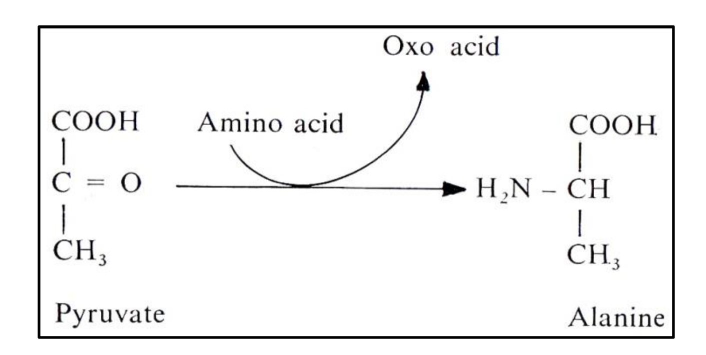
Fig. 3.21 CO_2 assimilation of C-4 plants (C-4 pathway).

إن سلسلة التفاعل الموضحة في الشكل 21.3 تحدث في الماليت لأنواع نباتات C-4. تميز هذه النباتات C4 بأنزيم الماليك NADPH. والماليت malate هو الصورة الرئيسية التي بها يتحول CO_2 المثبت من مركز تمثيل CO_2 (خلايا النسيج الوسطي) إلى مركز نزع مجموعة الكربوكسيل decarboxylation (غلاف حزم الخلايا). أنظر صورة 3.1 والشكل 22.3. وفي بعض أنواع نباتات C-4 يكون الاسبرتيت aspartate هو هيئة الناقلة بمقارنة بالماليت. إن نزعة مجموعة الكربوكسيل للاسبرتيت aspartate يمكن أن تحدث

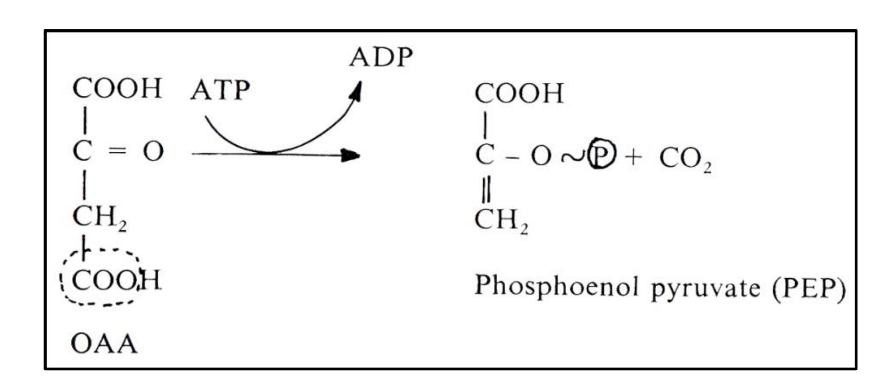
بواسطة NDAH أنزيم الماليك أو بواسطة PEP الكربوالليـنيز Carboxykinase وهذه التفاعلات لم تنجز بالكامل حتى الآن. واقترح Coombs، 1979 بأن الاسبرتيت تحول إلى الأوكساخليلت في الميتاكوندريا لغلاف حزم الخلايا. وقد تختزل الأوكساخليلت إلى الماليت والتي تفقد الكربون decarboxylated في النهاية بوساطة NADH أنزيم الماليك المتخصص في البلاستيدات الخضراء في غلاف حزم الخلايا. ويعاد البروفيت المتكون مرة أخرى إلى الخلايا النسيج الوسطي (أنظر الشكل 22.3).



ويمكن البروفيت aminated أيضاً بواسطة أنزيم alanine aminotransferas إلى alanine ، وربما أعادته مرة أخرى في دورة إلى نسيج الخلايا الوسطى.



والأوكساخليلت المتكونة بوساطة تفاعل transamintion، تفقد الكربون decarboxylated بوساطة PEP أنزيم الكربوالكينيز PEP Carboxykinase لغلاف حزم الخلايا، كما هو موضح أدناه التفاعل الذي يحتاج ATP.



وأن PEP متكون يمكن أعادته مرة أخرى إلى خلايا النسيج الوسطي الذي يعمل مباشرة كمستقبل CO_2.

وطبقاً للتفاعلات المذكورة أعلاه فإن نباتات C4 يمكن تصنف إلى ثلاثة مجموعات كما هو موضح في جدول 7.3، ومن ناحية أخرى غالباً فإن ثلاثة صور من نزع الكربون (نزع مجموعة الكربوكسيل decarboxylation) وكلها تحدث في نوع واحد (Edwads and Huber 1979) في كل الأنواع الثلاثة، CO_2 أو بالتحديد أكثر بيكربونات HCO_3 تتفاعل مع أنزيم كربوكسيليز فسفولانيول البيروفيت PEP Carboxylase (Commbs, 1979). لتكوين منتج نباتات C4، والذي يفقد الكربون في عملية عكس التكربن decarboxylated في النهاية لم تنجز محصلة تمثيل CO_2 (Kelly et al., 1976)، وبإضافة كمية من الطاقة

(ATP) التي يحتاج إليها لتمثيل ثاني أكسيد الكربون، وعلى الرغم من ذلك، فإن آلية تثبيت الكربون لها مميزات مهمة عندما تتركز عملية عكس التكربن decarboxylation في الخلايا الوسطية لغلاف حزم الخلايا.

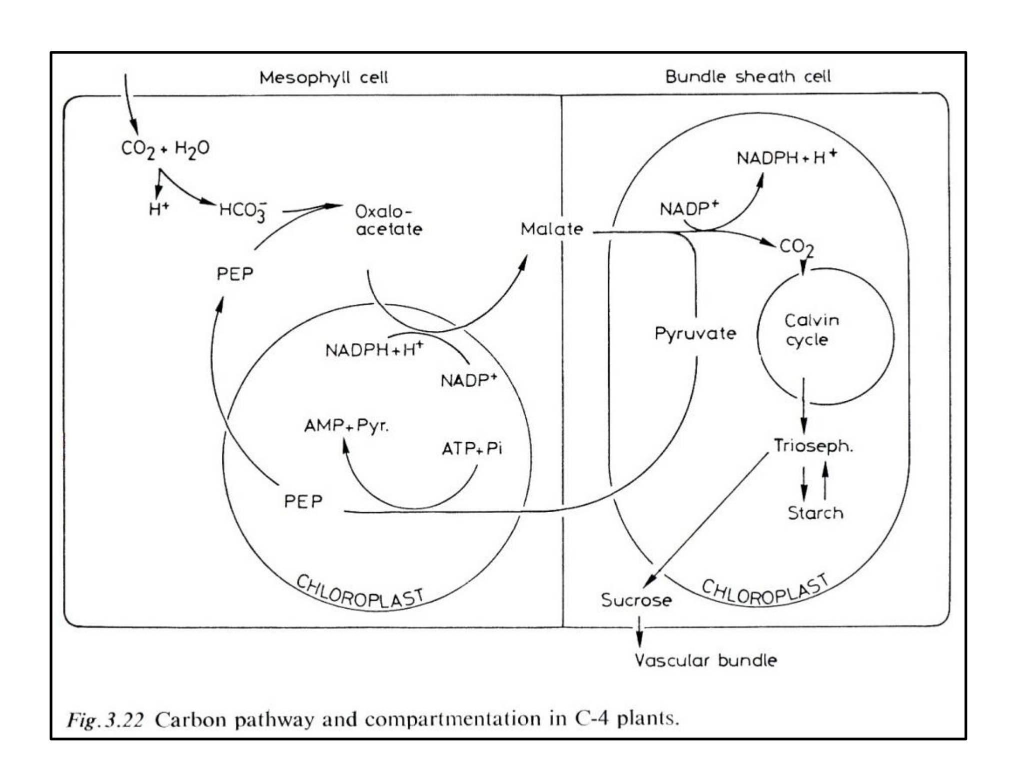


Fig. 3.22 Carbon pathway and compartmentation in C-4 plants.

إن CO_2 المنتج الأمثل ها يمنع أنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسليز RuBp carboxylase من أكسدة RuBp ويقاس الفقدان الكبير بوساطة التنفس الضوئي. ونتيجة لمستوى CO_2 الأمثل عند مركز مسار C3 (دورة كالڤن) فإن أنواع C-4 لم تتشبع ضوئياً، وهذا يكون أفضل لاستغلال كثافة ضوئية بمقارنة مع أنواع نباتات C-3.

إن السبب الوحيد الذي يفسر لماذا تكون أنواع نباتات C-4 فعالة في تمثيل CO_2 هو وظائف حجيرات Compartmentation للأنزيم مشارك في مسار C-4. ويوجد أنزيم PEP كربوكسيليز في السيتوبلازم، ويوجد أنزيم البيروفيت الفوسفات ديكلينيز Pyruvate phosphate dilkinase في البلاستيدات الخضراء لخلايا النسيج الوسطي . ويستعمل Malate dehydrogenase في التمثيل الضوئي منتجاً NADPH لاختزال الأوكساخليلت إلى ماليت. ويشتق أنزيم dikinase بوساطة التمثيل الضوئي مكوناً ATP. وقد يُعدل النظام للمقابلة الاحتياج بنسبة NADP/ATP. بوساطة الدوري أو غير الدوري والدوري غير حقيقي للتنفس الضوئي (الفسفرة الضوئية) (Edwords and Haber, 1979) وهذا النوع الأخير لفسفرة الضوئية تتحول الكترونات خلال النظام الضوئي I و II وأخيراً O_2 بدلاً من $NADP^+$ وتوجد أنزيمات عكس التكربن decaboxylation وأنزيم الماليك NADPH، وأنزيم الماليك NADH وأنزيم كربوكسيلينيز PEP (PEP carboxykinase) في غلاف حزم الخلايا.

Table 3.7 Variations in the biochemistry in C-4 species (after RAY and BLACK [1979])

Decarboxylation	Energetics of decarboxylation	Major substrate moving from MC to BSC	from BSC to MC	Representativive species
NADPH malic enzyme	Production of 1 $NADPH/CO_2$	Malate	Pyruvate	*Zea mays, Digetaria sanguinatis*
NADH malic enzyme	Production of 1 $NADH/CO_2$	Aspartate	Alanine Pyruvate	*Atriplex spongiosa Portulaca oleracea*
PEP carboxykinase	Consumption of 1 ATP/CO_2	Aspartate	PEP	*Panicum maximum Sporobolus poiretti*

MC = Mesophyll cells, BSC = Bundle sheath cells

وكل نوعين من الخلايا يحتوي مورفولوجياً على أنواع مميزة من البلاستيدات الخضراء لغلاف حزم الخلايا تكون كبيرة الحجم، ويمكن ان تتراكم النشاء فيها، وفي بعض الأحيان لا تحتوي على الجرنا (grana). وبعكس بلاستيدات الخضراء الصغيرة لخلايا النسيج الوسطي التي تحتوي دائماً على الجرانا. وكيفية حدوث أنتقال الماليت وسبرتيت أو الأسبرتيت من خلايا النسيج الوسطي نحو غلاف حزم الخلايا غير مفهومة حتى الآن. إن وجود الخيوط البلازمية (البلازمودزماتا plasmodesmata) التي تربط النوعين من الخلايا أدى إلى الأفتراضية بأن نواتج الأوسط C-4 نقلت خلايا الخيوط البلازمية (البلازمودوماتا) وإلى الآن ما زالت هذه الفكرة تفتقر إلى أدلة لتدعمها وقد أقترح Laetsch (1974). أن دورة كالڤن لنباتات C4 تقع في البلاستيدات الخضراء للنسيج الوسطي، ولكن لم يقم دليل عليها. وهناك الآن دليل بأن هذه البلاسديات الخضراء لا تحتوي على أنزيم كربوكسيليز RuBp لذا فهي غير قادرة على بدء تفاعلات دورة كالڤن (Ray and Black 1979) مسار C-4 يعتمد على الأضاءة، حيث أن أنزيم الماليك NADPH وأنزيم كاينيز فوسفات البروفيت Pyrvate phosphate dikinase تنشط بالضوء. والأنزيم الأخير يكون حساساً أيضاً لدرجة الحرارة المنخفضة ، وهذا يمكن أن يكون السبب الذي يفسر لماذا لا تزدهر نباتات C4 تحت الظروف البيئية الباردة مثل نباتات C3. يحاط غلاف حزم الخلايا بخلايا النسيج الوسطي الفنية بأنزيم الكربوكسيليز PEP. لذا فإن CO_2 المنطلق بالتنفس الميتاكوندريا أو حتى بالتنفس الضوئي سوف يعاد تثبيته بسرعة بوساطة أنزيم كربوكسيليز PEP. أضف إلى هذا نشاط أنزيم Oxygenase المنخفض لكربوكسيليز RuBp في نبات C4 يوضح لماذا هذه أنواع من

النباتات لها نقطة تعويض (CO_2 منخفض عند مستوى الـCO_2 الذي يكون عندها الـCO_2 المستهلك وCO_2 المنتج في حالة أتزان). ولهذا السبب فنباتات C4 بأمكانها اعتمال تركيزات المنخفضة نسبياً من CO_2 والنقطة التعويض للنباتات C-4 تكون منخفضة وتقع ما بين 0– 10 جزء في المليون CO_2. ونباتات C3 فإن القيم تكون 50 جزءاً من مليون (Kernzer et al., 1975).

والسبب الوحيد يمكن أن يفسر بأن نظام الفعال لتثبيت CO_2 في نباتات، ربما يكون ذا علاقة باستهلاكها أقتصادي للماء. هناك عدة نباتات من أنواع C-4 توجد طبيعياً في المناطق ذات الظروف الجافة والشبه الجافة والاستوائية. حيث أن إغلاق الثغور لمنع فقد الماء هو أمراً ضرورياً للنمو، وأيضاً للبقاء على قيد الحياة. لذا فإن دخول CO_2 يجب أن يكون محدداً كذلك تحت مثل هذه الظروف البيئية تطورت هذا أنواعاً نباتية ذات فعالية عالية في استعمال الماء والـCO_2 . وتتفق هذه النظرة مع النتائج التي وجدها Downes, 1969، الذي شاهد بأن النسبة الوزنية لثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى الماء H_2O المفقود بالنتح (فعالية استعمال للماء) للنباتاتC-4 كانت غالباً ضعف ما هي عليه لنباتات C3 والخاصية البيئية الأخرى لنباتات C4 وجودها المعتاد في البيئات الملحية، لذا فلقد اعتبر الصوديوم Na^+ كمية قياسية لبعض نباتات C4 (Brownell and Crossland 1972) ويوجد دليل على أن الصوديوم Na^+ يزيد من نشاط أنزيم كربوكسيليز PEP في جسم الكائن الحي، وهذا هو الأنزيم الأولي في عملية أضافة مجموعة الكربوكسيل في عملية البناء الضوئي لنباتات C4 (Shomer-Ilno and Waisl 1973).

7.2.3 عملية الأيض الحامضي في النباتات العصارية (الكراسيولسية) .Crassulacean Acid Metabolism

تتأقلم أنواع عديدة من النباتات مع ظروف المناطق الجافة التي تشكل أنواع من عائلة *Cactaceae* وعائلة *Carssulaceae* وعائلة *Euphorbiaceae* القادرة على تمثيل CO_2 أثناء الليل. وقد اكتشفت ربما أن هذه الصورة لتمثيل CO_2 أكتشفت أولاً في نبات *Bryophyllum Calycinum* العضو في عائلة Crassulacean ولهذا فإنه يسمى أيض حامض الكراسيولين للنباتات العصارية المتشحمة (Crassulaceae Acid Metabolism) (CAM). والميزة المهمة لـCAM تمكن المحافظة على الثغور مفتوحة أثناء الليلي. حيث تستطيع نباتات CAM من تمثيل CO_2 الذي يكون مخزوناً في الفجوات كحامض ماليك (Malic acid). وعندما تقفل الثغور أثناء النهار تحدث عملية نزع مجموعة الكربوكسيل Carboxlation decaboxylated لحامض الماليك والذي ينتج عنه CO_2 الذي يستعمل في تصنيع السكريات خلال دورة كالفن. آلية تمثيل الـ CO_2 مناسبة جداً لحماية النبات من فقد الماء أثناء النهار. وبذلك يمكن اعتبار CAM هي عملية تأقلم مع نباتات CAM متأقلمة مع الظروف الجافة. ومعظم الأنواع التي تظهر فيها الـCAM هي أنواعاً عصارية وشبه عصارية ولهذا تكون متأقلمة بشكل جيد للبقاء على الحياة في فترات الجفاف.

وكما في مسار C-4 تحدث عملية نزع مجموعة الكربوكسيل تحدث بوساطة أنزيم الكربوكسيليز الـ .PEP الذي يُحتمل وجوده في السيتوبلازم ويشترك بإحكام مع أنزيم الماليت الديهيدوجينيز malate dehydrogenac الذي يحول الأوكساخليلت Oxaloacetate إلى

الماليت malate. وعملية نزع مجموعة الكروكسيل (decarboxylation) من الماليت تحصل بوساطة أنزيم الماليك NADH. وفي بعض الأنواع يكون أنزيم الكربوكسيليز هو أنزيم نزع مجوعة الكربوكسيل(decarboxylating enzyme). وأن خلات الأكساخليت (Oxaloacetate) المستعملة في هذا التفاعل تنتج عن طريق أكسدة الماليت malate (Osmond, 1978). وأثناء فترة محصلة تمثيل CO_2 فإن المستقبل لثاني أكسيد الكربون (PEP)، توليده بكميات عالية. وبصفة عامة قد أصبح الآن مقبول بأن PEP يُنتج بوساطة هدم glycolytic للنشأ. ولهذا السبب الأنخفاض الكبير في مستوى النشا في الخلايا أثناء الليل.

والمخطط البسيط الكيمويحيو للـ CAM. قد وضح في الشكل 23.3. ويخزن حامض الماليك في الفجوات أثناء الليل ، وقد تصل تركيزاته إلى 200 مول.

إن تراكم الحامض هي عملية نشطة (فعالة) ولكن غير مفهومة بعد بالكامل. وأقترح Lüttge et al., 1975 أن تراكم حامض الماليك ينظمه الضغط الأنتفاضي tugor. وطبقاً للOsmond (1978) فإن الجهد المائي للنبات هو العامل الرئيسي المتحكم في الCAM. تحت ظروف الشد المائي (الإجهاد المائي) يمكن أن يتحول النبات إلى الأيض الحامضي في النباتات العصارية CAM بأقفال الثغور أثناء النهار وفتحها أثناء الليل. وتحت مثل هذه الظروف تكون نباتات الCAM قادرة على المحافظة على الجهد المائي (أنظر 12.4) من – 5 إلى – 10 بار حتى عندمل ينخفض الجهد المائي للتربة إلى – 22 باراً وصافي معدلات عملية تمثيل ثاني أكسيد الكربون للتربة في نباتات CAM يكون منخفضاً

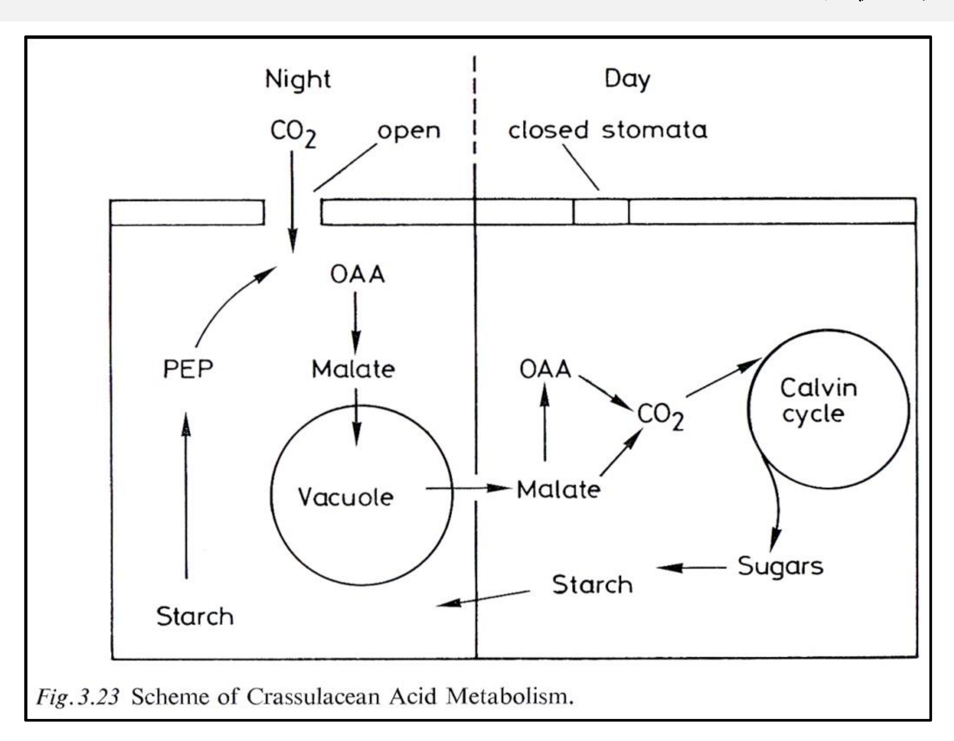


Fig. 3.23 Scheme of Crassulacean Acid Metabolism.

ومعدلات نمو هذه الأنواع من النباتات تكون أقل كثيراً منها في فترات أيض ثاني أكسيد الكربون المباشر.

3.3 تمثيل النتروجين والكبريت

1.3.3 نظرة عامة

إن عملية اكتساب CO_2 ليس هي العملية الوحيدة لتمثيله، والتي عن طريقها تكون النباتات قادرة على تصنيع (بناء) كميات كبيرة من المركبات العضوية من مصدر معدني (غير عضوي). ويكون هذا صحيحاً أيضاً لتمثيل كل من النتروجين N والكبريت S هما عنصران أساسيات لكل الكائنات الحية. ويوجد النتروجين في كل الأحماض الأمينية والبروتينات

والأنزيمات المساعدة (Co enzymes) ، ويوجد الكبريت S في بعض هذه المركبات.

إن العمليات التي تحول بها النباتات النتروجين غير العضوي (N_2 و NH^+ و NO_3^-) والكبريت غير العضوي (SO_4^{2-}) إلى الصورة العضوية هي مهمة في علم الأحياء، أما بالنسبة للحيوانات تعتمد تغذيتها على النتروجين العضوي والكبريت العضوي مصدرهما النباتات والكائنات الحية الدقيقة.

2.3.3 أختزال النترات

تكون النترات في النباتات المصدر الرئيسي للنتروجين المتاح للنباتات، ولكن قبل أن يتم تمثيلها فإنه يجب أن يختزل أولاً إلى NH_3 . وتسمى هذه العملية المهمة بعملية أختزال النترات (nitrate reducation) التي تتكون من خطوتين أساسيتين وهما أختزال NO_3^- و NO_2^- والأختزال الآخر NO_2 إلى NH_3 . وبصفة عامة فإن الأكسدة المقبولة لتمثيل الـ NO_3 في أنسجة النباتات في الضوء والموضحة في الشكل 24.3. وإن الأنزيمين المشتركين في العملية هما أنزيم إختزال النترات (نيترات ريدكيز nitrate reductase) وأنزيم إختزال النيتريت (نيتريت ريدكتيز nitrite reductase) (Hewitt, 1975 , Beevers, 1976). ويساعد الأنزيم الأول يختزل أنزيم نيترات في الخطوة الأولى من NO_3 إلى NO_2^- التي تحدث في السيتوبلازم. أما الأحتزال الآخر من NO_2 إلى NH_3 فإنه يحصل في البلاستيدات الخضراء بوساطة أنزيم نيتريت ريدكينيز. وكلا الأنزيمين نترات ريدكتيز ونيتريت ريدكيتز يقومان بوظائفهما في سلسلة من الخطوات وهذا يعني أنه لا يحدث تراكم للنتريت بكميات يمكن تقديرها.

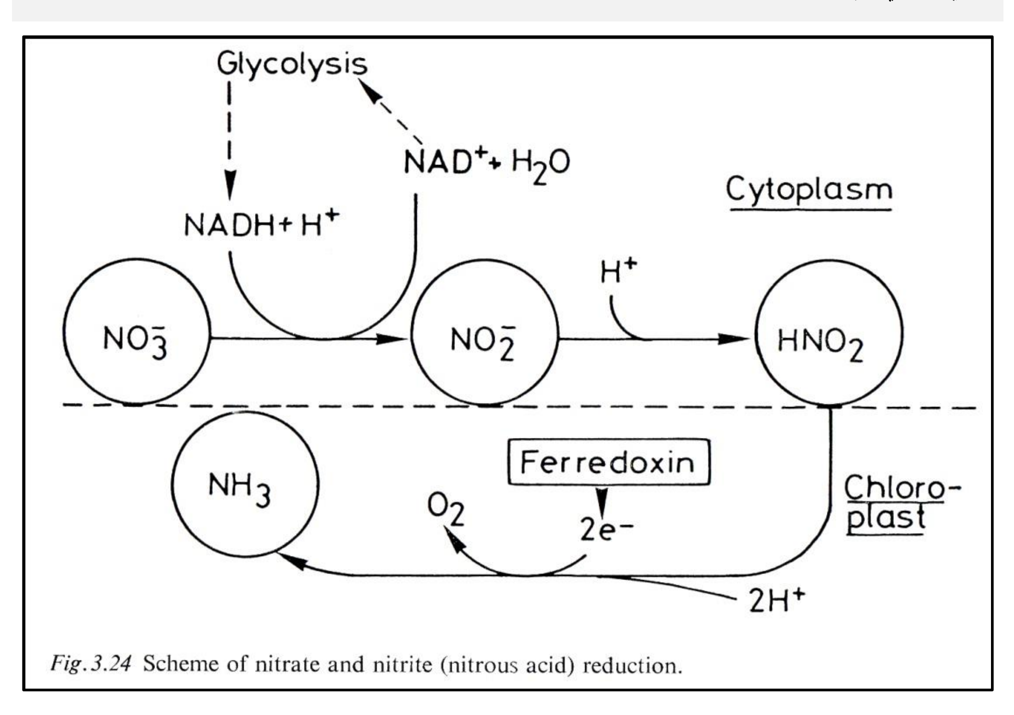


Fig. 3.24 Scheme of nitrate and nitrite (nitrous acid) reduction.

وقد رصد نشاط أنزيم نتريت ريدكتيز في العديد من الكائنات النباتية التي تشمل البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة والطحالب الخضراء والفطريات والنباتات الراقية (Guerrero et al., 1981) على الرغم من أن الوزن الجزئي بالإضافة إلى الخواص للأنزيم يظهر بأنها تختلف في هذه الأنواع النباتية المتعددة، وقد وجد أن الأنزيم نيتريت ريدكتيز في السبانخ له وزن الجزئي 200 K دلتون. ولها ثلاثة مجموعات تكميلية وهي الفلافين آدنينين داي نيوكليتيد (FAD) والسيتوكروم (ب) والمولبيدنيوم (Mo) الذي يشتغل في السلسة كما هو مبين في الشكل 25.3 وقوة الأختزال التي يحتاج إليها هي الـ NADA التي ربما يكون نشؤها من عملية الجلكزة glycolysis. وربما يتم التزويد بالـ NADA بطريقة غير مباشرة

بوساطة البلاستيدات الخضراء عبر توشع الاكوساخليلت – الماليت (الشكل 4.8). حيث تلتقط أوكسالوخلات بوساطة البلاستيدات الخضراء، ويختزل بوساطة NADPH المجهزة بوساطة التمثيل الضوئي إلى الماليت malate. وهذا يصّدر إلى السيتوبلازم ويتأكسد هناك أوكسالوخلات وهي العملية التي بها يختزل NAD^+ إلى NADH وهذه آلية التوشيع Shuttle mechanism وهي مهمة لنباتات C4 (أنظر 6.2.3) التي تربط نشاط البناء الضوئي باختزال النتريت.

وفي البكتريا وبعض الطحالب وفي الفطريات قد يوظف NADPH وأيضاً NADH كمصدر لقوة أختزال الأنزيم. وقد لوحظ في بعض أنواع النباتات الراقية أنزيم أختزال النترات المعتمد على NADPH. أنزيم أختزال النترات (نيترات ريدكيتز) في الطحالب المزرقة والخضرء يكون مرتبطاً بإحكام مع أجزاء الغشاء المحتوي على الكلورفيل، وبصورة مباشرة تستخدم الالكترونات المزودة بوساطة الفيريدوكسين Ferredoxin في أختزال النترات NO_3. لذا توجد في هذا الكائن الحي علاقة وثيقة بين التمثيل الضوئي وأختزال النترات في هذا النظام.

والسيتوكروم (ب) ينقل الاليكترونات من FAD إلى Mo التي تتفاعل مباشرة مع النترات (أنظر إلى الشكل 25.3). وأن تغير أكسدة الـMo المرافقة مع الأختزال هي غير واضحة حتى الآن، وطبقاً إلى ما جاء به Guerrero et al., 1981. وانتقال الالكترون يحدث بوساطة تغير $Mo^{Iv} \leftrightarrows Mo^{uI}$. وبصفة عامة أصبح مقبولاً أن أنزيم أختزال النترات هو الأنزيم المحفِّز (المحِث) أو بعبارة أخرى فإن النترات يُحث أو تنشط تمثيل الأنزيم.

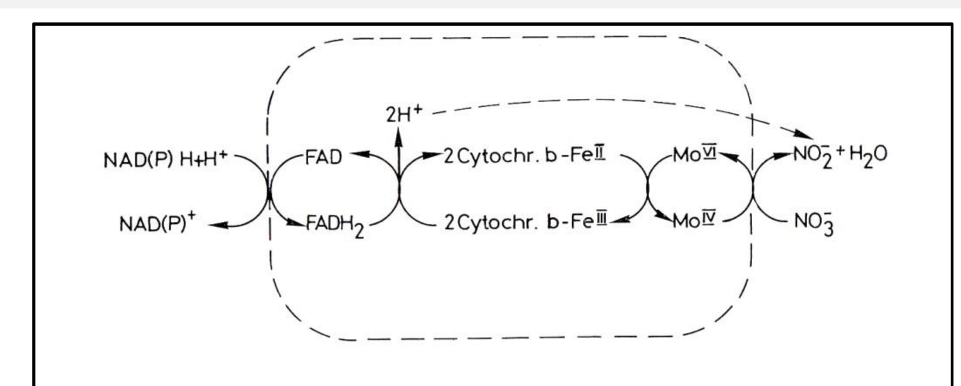


Fig. 3.25 Phrosthetic groups of the nitrate reductase and the sequence of reactions (according to GUERRERO *et al.* [1981]). NAD(P)H denotes that both coenzymes NADH and NADPH may function as H donors.

لكن وجد أنزيم أختزال النترات (نتريت ريدكتيز) نشاطاً في غياب النترات، وقدرته على حث هذا الأنزيم سؤال يستحق دراسة أخرى. وفي أغلب الحالات فإن نشاط أنزيم أختزال النترات (نتريت ريدكتيز) يزداد بوساطة النترات و ينخفض بوساطة NH_4^+ والعديد من الأحماض الأمينية الأخرى.

إن NO_2 المنتج بوساطة أنزيم اختزال النترات هو أنيون الحامض الخفيف، ولهذا السبب فإن البروتون جزئياً طبقاً للمعادلة

$$NO_2^- + H^+ \leftrightarrows HNO_2$$

وقد اقترح كل من Herber and Purczeld 1977 بأن الهيبونيتريت HNO_2 هو الذي ينتقل عير غشاء البلاستيدة الخضراء أكثر من NO_2 ، وبذلك فإن HNO_2 هو الذي يدخل إلى ستروما البلاستيدة لتختزل إلى NH_3.

$$H^+ \rightarrow NH_3 + O_2\ HNO_2 + 2\bar{e} + 2$$

ويحتمل أن يحصل التفاعل في الجانب الخارجي لغشاء Thylakoids وهذه الخطوة تحتاج إلى مختزل قوي وفي الخلايا الخضراء يكون إمداد هذا المختزل بوساطة مركب ذي وزن جزئي منخفض محتوي على الحديد، وهو الفريدوكسين Ferredoxin (أنظر إلى 15.3) ويستقبل الفريدوكسين الكتروناته مباشرة من سلسلة الأنتقال الالكتروني لعملية البناء الضوئي (النظام الضوئي I) (أنظر 14.3) وإن أنزيم إختزال النتريت (نتريت ريدكتيز nitrite reductase) للنباتات الراقية يحتوي على مجموعة (جدائل) بيبتايد المتعددة polypeptide strand الفردية التي يربط فيها معقد الحديد والكبريت والسيرودهيم sirohaem. والسيروهيم هو صورة خاصة للهيم والتي المفترض أن ترتبط مع NO_2^- وهتان المجموعتان في هذا الأنزيم تشترطان في أنتقال ē. ويعتمد تصنيع ونشاط أنزيم أختزال النتريت على الإمداد بالنيتريت (NO_2^-).

أن أختزال النترات (NO_3^-) يحدث في الجذور أيضاً وعملية تنفس الجذور هي التي توفر NADH المطلوب في خطوة الأختزال إلى NO_2^-. ويحصل أختزال NO_2^- في البروتوبلاستيدات (protoplastids) (Dalling et al., 1972). وطبقاً Spiller (1976) فإن إختزال النتريت NO_2^- تحت ظروف الظلام يشارك فيها أيضاً الفريدوكسين الذي يستقبل التكورنات من الـNADPH. وإن هذا يتفق مع الملاحظة التي وجدت بأن البلاستيدات المساعد (Proplastids) هي مصدر جيد للـ NADPH كونها غنية بأنزيمات مسار بنتوز فوسفات pentosphosphate (Beevers,1976). وبالإضافة لذلك ربمايتكون NADPH في الجذور بوساطة عملية نقل الهيدروجين (transhydrogenation)

"NADH ← NADPH" المرتبطة بتثبيت CO_2 في الظلام وبعملية نزع مجموعة الكربوكسيل (Decarboxylation) (Ting and Dugger 1965).

وإن حاصل تأثير أنزيم أختزال النترات وأنزيم أختزال النيتريت ربما تكتب كما يلي:

$$NO_3^- + 2H \rightarrow NO_2^- + H_2O \text{ (nitrate reduction)}$$

$$NO_2^- + H^+ \rightarrow HNO_2 \text{ (nitrite protonation)}$$

$$HNO_2 + 2H \rightarrow NH_3 + O_2 \text{ (nitrous acid reduction)}$$

$$\text{net: } NO_3^- + 4H + H^+ \rightarrow NH_3 + H_2O + O_2$$

وبجانب استهلاك 4 أيونات أختزال مكافئة (H4) يتم استهلاك بروتون واحد (H^+) لكل NH_3 متكون. وإضافة البروتون (protnation) والتي تحصل في السيتوبلازم هي العملية المسؤولة عن التأثير القلوي المصاحب لتغذية بالنترات (NO_3^-). وإذا حصل أختزال للـ NO_3 في أجزاء النبات الخضراء فإن ذلك يحفز تراكم الماليت (malate) في السيتوبلازم والفجوات العصارية. وهذا ذو علاقة وثيقة قريبة جداً بامتصاص وأنتقال الأيونات (انظر 9.1.3).

ويلعب الضوء دوراً مهماً في تمثيل نترات NO_3. حيث أن نشاط أنزيم أختزال النترات (nitrate reductase) ينخفض عند نقل النباتات الخضراء من ظروف الضوء إلى الظلام حتى لو كانت النترات موجودة بكميات كافية (Beevers and Hageman ,1972 and Hagemen and Flesher, 1960) وهذا التأثير مع تأثير أنخفاض قوة الأختزال بسبب غياب الضوء. يعتبران السببين الرئيسيين في تراكم النترات عندما تكون شدة الأضاءة منخفضة.

وقديحصل عادةً تراكم كثير للنترات في المحاصيل الحقلية كنتيجة لشدة الأضاؤة المنخفضة والتسميد العالي بالنترات NO_3. وبهذه تسبب خطورة في مزارع الحيوان وتغذية الإنسان (أنظر 1.3.3.6).

إن تمثيل النترات بوساطة النباتات يتأثر بالنغذيات المعدنية وخاصةً Mo. وكما هو موضح سابقاً بأن Mo مكون ضروري لأنزيم أختزال النترات (نترات ريدكيتز) وفي حالة نقص Mo يحدث تراكم النترات، ويقل محتوى مركبات النيتروجين الأمينية الذائبة. (Possingham 1956) بسبب غياب NH_3 المتاح لتكوين الأحماض الأمينية. ويمكن أن يؤثر المنجنيز بصورة غير مباشرة في عملية تمثيل النترات، حيث أنه ضروري في النظام الضوئي II، وكذلك يشجع تدفق الالكترونات من الماء عن طريق الفيريدوكسين ferredoxin إلى أنزيم أختزال النتريت (النترين ريدكيتز nitraite reductase).

ويظهر أنزيم أختزال النترات (نترات ريدكيتز) بصورة سائدة في السيتوبلازم للخلايا المرستيمة. حيث أن الأوراق الغضة الحديثة وقمم الجذور تكون غنية بهذا الأنزيم. ولقد بين كل من (Van Egmond and Breteler, 1972) أن نشاط نترات ريدكتيز في أوراق بنجر السكر الحديثة المتطورة بالكامل كانت عشرة أضعاف أعلى عن ما هي في الأوراق القديمة. وطبقاً إلى (1970) Hewitt فإن نشاط نترات ريدكتيز يزيد أرتفاعه لدرجة قصوى في الأوراق المتوسطة اليانعة، وفي الجذور يكون نشاط الأنزيم في أقصاه في الأنسجة الحديثة، وينخفض بشكل ملحوظ في أجزاء الجذور القديمة (Hewitt, 1970). ويكون تحول الأنزيم سريعاً (Oaks et al., 1972) طبقاً لما جاء به Schrader et al., 1968 فإن نصف عمر هذا

الأنزيم حوالي أربع ساعات.

إن مواقع أختزال NO_3^- تختلف باختلاف أنواع النباتات، وعلى سبيل المثال في نباتت الطماطم يوجد 80–90% من النتروجين في عصارة الخشب (xylem) على صورة نترات NO_3-N (Lorenz 1976) وهذا يعني أن أختزال NO_3 يجب أن يحصل بصورة بدائية في أجزاء النبات الخضراء، وقد بين نفس الأكتشاف من قبل Wallace and Pate 1967 في نبات Cocklebur (*Xanthium pennsylvaticum*). وفي هذه الأنواع من النباتات وجد أن نشاط أنزيم أختزال النترات (نترات ريدكتيز) غائباً في الجذور. ومن ناحية أخرى فإن معظم هذه الأنواع لها مقدرة على أختزال NO_3 في كل الجذور وأجزاء النبات العليا. وطبقاً لما جاء به Pate (1971) الذي درس أختزال النترات NO_3 في العديد من أنواع نباتات المحاصيل، فإن أجزاء NO_3^- المختزلة في الجذور قلت تبعاً لسلسل الآتي:

الشوفان > الذرة > دوار الشمس > الشعير > السلجم

إن أوراق الأشجار والشجيرات لا تحتوي على نترات، وطبقاً لما جاء به كل من Sanderson and Cocking 1964 فإن أختزال النترات يحصل بصورة مقصورة في الجذور. ومن ناحية أخرى تمكن كل من Klepper and Hageman 1969 من إيجاد نترات في أوراق أشجار التفاح التي سمدت بالمستويات العالية من النترات، كما أن أنسجة الأوراق تكون قادرة على أختزال النترات. ومن المحتمل أن تكون أوراق الأشجار الأخرى قادرة أيضاً على حفز نشاط أنزيم أختزال النترات (نترات ريدكتيز). وإذا كان هذا صحيحاً، فيكون من الواضح أن مستوى التغذية بالنترات يمكن أن يُحدد توزيع نشاط أنزيم أختزال النترات بداخل

النبات. ولقد بين هذا في نبات البازلاء من قبل Wellace and Pate 1965 عند تزويدها بالمستويات المنخفضة من النترات، فقد قدر حوالي نصف نشاط أنزيم أختزال النترات (نترات ريدكتيز) في الجذور، ولكن عند المستويات العالية كانت قمم النبات العليا (Shoot) هي المكان الرئسيي لاختزال النترات.

إن نشاط أنزيم اختزال النترات (نترات ريدكتيز) يكون قادراً على التأثير في الإنتاجية الكلية، حيث أنه يتحكم إلى حد ما في معدّل تمثيل النترات. ولقد بين كل من Eilrich and Hageman 1973 أن نشاط أنزيم أختزال النترات (نترات ريدكتيز) في ورقة العلم لنبات القمح يعتمد على مستوى النترات المجهزة. وإن زيادة نشاط الأنزيم كانت مصاحبة بالمحتويات العالية من البروتين في الحبوب. ومن ناحية أخرى قد درس كل من Croy and Hageman 1970 نشاط أنزيم أختزال النترات في أوراق 32 صنفاً مختلفاً من القمح، وقد وجدوا علاقة غير واضحة بين نشاط الأنزيم والمحتوى البروتيني في الحبوب. قد أقترح هذان الباحثان أنه بالإضافة إلى نشاط الأنزيم في ورقة العلم يكون معدّل انتقال المركبات الأمينية إلى الحبوب هو العامل الرئيسي الذي يؤثر في المحتوى البروتيني في الحبوب.

3.3.3 **تثبيت النتروجين**

إن هواء الغلاف الجوي يكون مخزوناً هاملاً لجزيئات النتيروجين N_2. ومن ناحية أخرى فإن هذا N غير متاح للاستعمال من قبل النباتات الراقية بصورة مباشرة. وقبل أن يحدث التمثيل يجب أولاً أن يحول إلى صورة ثابتة إما بواسطة الأكسدة والتي تحوله إلى NO_3-N أو بوساطة اختزاله إلى NH_4-N كما أن النتروجين الجزئي يكون حاملاً (غير

فعال). وتحت هذه التحولات فإنه يحتاج إلى كميات كبيرة من الطاقة، وتوجد عدة أنواع من الكائنات الحية الدقيقة التي تكون قادرة على أختزال N_2 إلى NH_3 تحت درجات الحرارة والضغط في محيط التربة. حيث تلعب هذه الكائنات الحية الدقيقة دوراً مميزاً في دورة النتروجين في الطبيعة بوساطة تحويل النتروجين الجزئي إلى صورة عضوية، وبذلك يصبح النتروجين متاحاً للكائنات الحية الأخرى، وتعرف هذه العملية بتثبيت النتروجين. وأن كمية النتروجين المختزلة بهذه الطريقة تعتبر هائلة على المستوى المقياسي العالمي. وطبقاً لما جاء به Chatt (1976). فإن كمية النتروجين المثبتة حيوياً تقرب من 17.2 × 10 طناً في السنة (annum). وهذا الرقم يكون أربعة أضعاف كمية النتروجين المثبتة صناعياً وهذا يوضح الأهمية الكبرى للتثبيت الحيوي للنتروجين.

إن الكائنات الحية الدقيقة القادرة على تثبيت النتروجين يمكن أن تقسم إلى كائنات حرة المعيشة والأخرى التي تعيش تكافلياً مع النباتات الراقية. ومن جهة النظر الزراعية فإن الإرتباط التكافلي بين الرايبزوبيوم والبقوليات له أهمية كبيرة. وقد أخذ هذا في الأعتبار في الفصل السابع.

أن الميزات الرئيسية الكيميائية لتثبيت النتروجين قد أسست (وطيدت) بشكل جيد لسنوات الأخيرة. ويبدو أن آلية العمل التي يثبت بها النتروجين تكون متشابهة لكل الكائنات الحية الدقيقة المثبتة لل N_2. ويوضح الشكل 3.26 التخطيط المبسط الذي وصفه Shanmugam et al., 1978 والبكترويد bacteriod وهذا تسميه البكترية الرايبزوبيوم النشطة، وهي تغلف بغشاء وتكون منغمسة في خلايا العائل. ولذا فيمكن مقارنتها

بالأعضاء المحولة للطاقة الأخرى مثل الميتاكوندريا. ويتحكم الغشاء في تصدير وتوريد النواتج الأييضية. حيث أن يورد البناء الضوئي. الإمدادات إلى دورة الحامض الكربون الثلاثي (دورة TCA) بنواتج الأيض. والمكافئات الأختزالية (NADH) المتكونة المنتجة دورة TCA التي تحتاج إليها الفيريدوكسين Ferredoxin في سلسلة التنفس، وهذه الأخيرة ربما تقع في الغشاء. تقوم سلسلة التنفس يتجهيز الـ ATP ويمد الفيريدوكسين أو الفلافودوكسين نظام النتروجين nitrogenase بالالكترونات. وهذا هو النظام الفريد الذي يحدث أختزال N_2 إلى NH_3 طبقاً للمعادلة:

$$N_2 + 6\bar{e} + 6H^+ \rightarrow 2NH_3$$

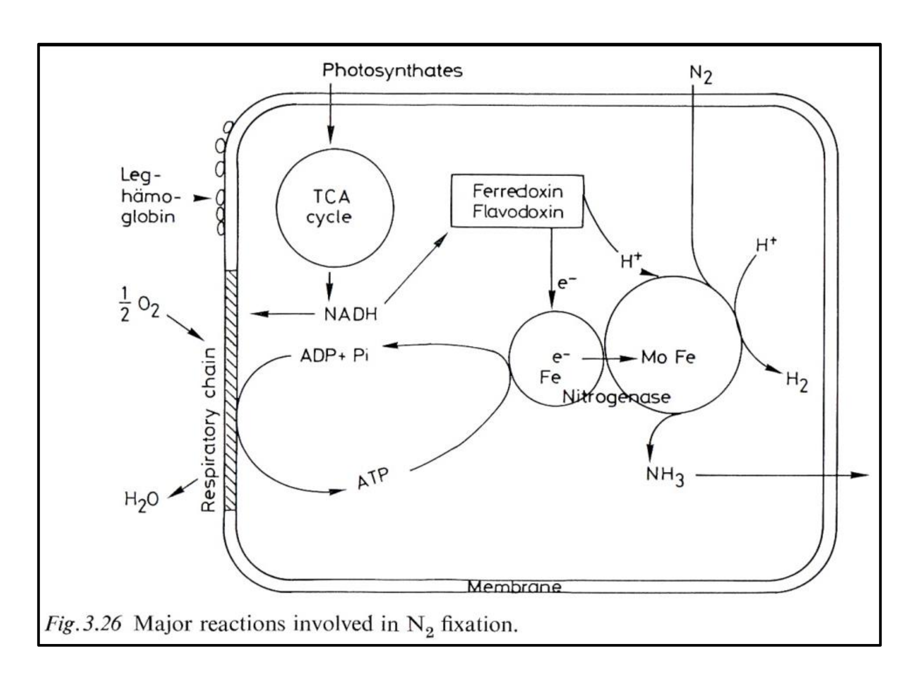


Fig.3.26 Major reactions involved in N_2 fixation.

ويتكون نظام النتروجينيز من معقدين بروتينين أحدهما ذو وزن جزيئي حوالي

18000 يحتوي على Fe و Mo بنسبة 1:9 لكل جزيئ والآخر ذو وزن جزئي يقرب من 51000 ويحتوي على ذرة واحدة من Fe لكل جزئي بروتين. والأنزيم الذي يحتوي على Mo Fe -هو أنزيم أختزال النتروجين (نتروجينيز ريدكتيز) بينما الأنزيم الأصغر يمد بالكترونات الأختزال. وإن أنتقال الالكترونات من معقد بروتين أصغر إلى معقد بروتين أكبر في نظام النتروجينيز هذا يحتاج إلى ATP. وطبقاً إلى ما جاء به Winter and Burris 1976 فإن الماغنسيوم Mg^{2+} يكون جسراً ما بين المعقد بروتين الاصغر و ATP والذي يخفض الجهد الرودكسي للأنزيم (تصبح شحنته سالبة أكثر) بوساطة تأثير allosteric. ويسمح هذا الأنخفاض في الجهد الرودكسي بأنتقال الالكترونات من معقد البروتين الحديدي إلى معقد حديد ومولبيونيوم Fe Mo. وأنتقال الكترون يكون مرتبط بإنشقاق ATP إلى ADP والفوسفور غير عضوي (معدني). والكمية التي يحتاجها كل جزيء N_2 غير محدودة جيداً. وطبقاً لما جاء به Shanmgan et al., 1978 فإن الكمية التي يحتاج إليها هي 15– 30 من ATP في الأختزال لكل جزيئ N_2. وهذا يبين أن أختزال N_2 يتطلب كمية عالية من الATP.وخطوات الأختزال غير مفهومة حتى الآن. ويفترض أن N_2 يرتبط مع معقد الحديد والموليونيوم (معقد Fe,Mo) وبعد ذلك يختزل (Parthier, 1978) وطبقاً لما جاء به Winter and Burris 1976 بأن التفاعل ككل هو ثلاثة خطوات، ولكل خطوة في الآلية الكترونين (2 الكترون) وسواء كان أدمياد diimide أو الهيدرازين hydrazine لهما نواتج أوسطية لعمليات الأختزال هذا غير واضح.

إن NH_3 المتكون بوساطة النتروجينيز يتحرر بشكل رئيسي من البكترويد

bacteriod إلى أنسجة العائل (Antoniw and Sprent 1978) حيث يستعمل في تصنيع الأحماض الأمينية. والأنزيمان المسؤولان على هذا التصنيع هما glutamine synthetase و glutamate synthetase. وهذه التفاعلات شرحت بتفاصيل أكثر في الفقرة 4.3.3. ولا يظهر كل من الجلوتاميت والجلوتامين بمستويات عالية في أنسجة البكترويد، وهذا له تأثير فسيولوجي لأن مستويات الأيض العالية لكليهما تثبط ما يسمى بمورثات تثبيت النتروجين (nif genes). وتقع هذه المورثات في جنوم genom البكتريا وهي التي تشفر تصنيع البروتينات نزع النتروجينيز. وقد يزود البمترويد العائل النباتي بأكثر من 90% من NH_2 المتكون، وهذا أحد الأسباب التي تفسر بماذا تكون البكتريا التكافلية المعيشة التي تثبت N_2 فعالة في عملية تثبيت N_2 بالمقارنة مع البكتريا حرة المعيشة حيث نشاط النتيوجينيز يتحكم فيه قصرياً بمستوى الجلوتاميت ويفترض أن تكوين النيتروجينيز معتمداً على مستوى NH_3 في البكترويد، وهذا يؤثر على شدة تثبيت N_2 (Latimore et al., 1977).

ولا يختزل النتروجينيز النتروجين N_2 فحسب بل يكون قادراً أيضاً على أختزال H^+ إلى H_2 وبذلك يتكون جزئي الهيدروجين (أنظر الشكل 3.26). ولهذا السبب فإن النتروجين الجزئي (N_2) و H+ يتنافسان على الالكترونات النيتروجينيز، ولهذا السبب فإن فعالية أختزال N_2 تتأثر بشكل كبير بوجود H^+ (Schubert and Evans 1976) وبعض سلالات الرايبوزيم (Rhizobium) تكون قادرة على فصل H_2 المتكون بوساطة أنزيم الهيدروجينيز.

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2\bar{e}$$

وقد تعاد الالكترونات المتكونة مرة أخرى إلى النتروجينيز والتي تستعمل هنا لأختزال N_2. وقد

وجد Schubert et al., 1978 أن أعادة الالكترونات مرة أخرى إلى النتروجينيز تساهم كثيراً في فعالية تثبيت N_2 لبكتريا الرايبوزيم.

إن شدة أختزال N_2 تعتمد على الإمداد بالكربوهيدرات. وهذا يكون صحيحاً للكائنات الحية حرة المعيشة المثبتة N_2 ، وأيضاً للبكرتيا التكافلية المعيشة مع النباتات الراقية، وطبقاً لما جاء به Antoniw and Sprent 1978 من نتائج تجاربه مع العقد الجذرية *phaseolus Vulgaris* فإن السكروز والفركتوز والجليكوز والمالين ومواد أخرى لم تعرف بعد، ومن الممكن أن تعمل كمصدر للطاقة للبكترويد.

وإن حالة الطاقة للنبات العائل، التي تقدر بصورة رئيسية بوساطة شدة الإضاءة وتجهيز النبات بالبوتاسيوم K^+، يكون لها تأثير على نشاط النتيوجينيز وهذا قد وضحه الباحثون (Mengel et al.1974, Bethlenfalvay and Phillips (1978) Wahua and Miller (1978), Feigenbaum and Mengel (1979)) ونظام النتيروجينيز يكون حساساً جداً إلى الأكسجين، والغرض من الغشاء هو التحكم الدقيق في الأمداد بالأكسجين (Parthier, 1978). وهذا لإمداد منجزه البقلهيموجلوبين (Leghaemoglobin) الذي يقع في الجانب الخارجي للغشاء، ويربط O_2. الذي يتحكم بشكلاً حازم في إمداد O_2 إلى سلسلة التنفس في الغشاء (أنظر الشكل 26.3) ويكون هذا مسؤولاً عن تقنية ATP، وفي الكائنات الحرة المعيشة المثبتة للنتروجين، فإن ضغط الأكسجين العالي يثبط النيتروجينيز (Neyra and Döberiner 1977) وتطورت الأزوتوباكتر (بكتريا التأزت — Azotobacter) نظام تنفس عالي الفعالية حيث تستهلك كميات كبيرة من الأكسجين ويحمي النتروجينيز

ضد ضغط O_2 الجزئي العالي. وفي بعض البكتريا التي تثبت النتروجين والطحالب الخضراء المزرقة، فإن الفلافودوكسين flavodxin يمكن أن تحل محل الفريدوكسين Ferredoxin والفلافودوكسين (flavodoxin) هو الفلافوبروتين (flavoprotein) (MW 20.000) وهو أكثر حساسية للأكسجين من الفريدوكسين (Bothe, 1977).

ولقد أصبح واضحاً أن بكتريا الرايزوبيوم Rhizobium تحتاج إلى الكوبالت Co. ومن تقارير Evans and Russell 1971 فإن الـCo ضروري في مسار تفاعل بروبيونات (propionate)، التي ربما تحكم في تكوين البقلهيموجلوبين (أنظر 3.19). ويبدو أن النحاس Cu ضروري في تثبيت N_2 ، وأيضاً يشترك في تكوين البقلهيموجلوبين أو مح الأنزيمات المصاحبة لانتقال الالكترونات إلى الأكسجين الجزئي (أنظر 2.2.16).

4.3.3 تمثيل الأمونيا

إن تمثيل كل من النترات وتثبيت النتروجين الجزيئي تؤدي إلى زيادة في الأمونيا، ولتمثيلها هناك ثلاثة أنزيمات مهمة هي:

أنزيم نزع الهيدروجين من الجلوتاميت. Glutamate dehydrogenase

أنزيم تصنيع الجلوتامين. Glutamine Synthetase

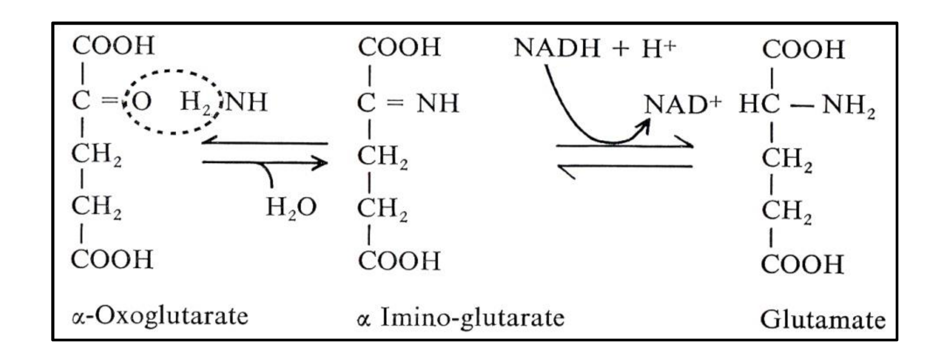
أنزيم تصنيع الجلوتاميت. Glutamate Synthetase

إن الأنزيم glutamate dehydrogenase يعمل عاملا مساعداً للتفاعل بين NH_3 و α-Oxoglutarate ، ولقد تبين أن هذا الأنزيم يوجد في الكثير من النباتات الراقية، كما أنه يحتوي على الزنك Zn (Vallee and Wacker 1970). وقد أفترض في هذا التفاعل أن

المواد تتحد لتكوين حامض الفا– ايمينو α-imino acid والذي بدوره يختزل إلى الجلوتامين، في تفاعل لاحق يحتاج بصورة إضافية NAD (P) وكلتا هاتين الخطوتين هما تفاعل عكسي كما هو مبين في سلسلة التفاعل التالية.

وينتج عن هذه العملية إضافة مجموعة الأمين α-Oxoglutarate ويرتبط بعملية الأختزال بواسطةNAD (P) H، ولهذا السبب أصُطلح على تسمية العملية بعملية إضافة مجموعة الأمين الإختزالية.

وإلى وقت حديث نسبياً فإن إضافة مجموعة الأمين إلى α-Oxoglutarate التي يساعد عليها أنزيم نزع الهيدروجين من الجلوتاميت glutemate dehydogenase أعتبرت هي التفاعل الرئيسي المسؤول عن عملية تمثيل الأمونيا NH_3 إلى أحماض أمينية في النباتات الراقية.



العمل الذي قام به Lea and Miflin (1974) و Lea and Miflin (1977) وSkokur et al., 1978 قد أوضحوا بوجود مسار بديلا، وعموماً أكثر أهمية ويضم تفاعلين

يعملان في السلسة في البلاستيدات الخضراء واللذان حُفزا بإنزيم glutamine synthetase وأنزيم glutamate synthetase. وهذا موضح بالشكل 27.3. ويسبب أنزيم glutamine synthetase في حدوث التفاعل الذي فيه يعمل glutamate كمستقبل للأمونيا NH_3 لإنتاج glutamine، التفاعل هو عملية endergonic تحتاج إلى ATP وأيضاً إلى Mg^{2+} ويزود ATP بوساطة الفسفرة في عملية البناء الضوئي، وفي وجود مصدر أختزال فإن glutamine ينقل مجموعة الأميد (amide) الموجودة فيه إلى α - Oxoglutarate . والأنزيم الذي ساعد على هذا التفاعل هو glutamate synthetase ويعرف الآن بـGOGAT الذي هو أختصار Glutamate Oxoglutamate Amino transferase وفي النباتات الراقية يوفر الفيرويدكسين القوة المختزلة (الالكترونات) الضرورية لهذا التفاعل.

ويمكن كتابة هذان التفاعلان بالصيغة الآتية:

$$\text{Glutamate} + NH_3 + \text{ATP} \rightarrow \text{Glutamine} + \text{ADP} + P_i$$
$$\text{Glutamine} + \alpha\text{-oxoglutarate} + 2e^- + 2H^+ \rightarrow 2\ \text{Glutamate}$$
$$NH_3 + \alpha\text{-oxoglutarate} + \text{ATP} + 2e^- + 2H^+ \rightarrow \text{Glutamate} + \text{ADP} + \text{Pi}$$

لذا فإن جزيئ واحد من glutamate يتكون من جزيئ واحد من α-Oxoglutarate و NH_3 ولهذا السبب يكون هذا النظام مشابهاً كثيراً لنظام الجلوتاميت دي هيدروجينيز الذي يعمل كوسيط في عملية أضافة مجموعة الأمين الأختزالية وليس كما قد يظهر لأول وهلة أن الأختلاف الرئيسي بين كل من النظامين هو في صلتهما للأمونيا NH_3 وتكون هذه عالية للأنزيم glutamine synthetase الذي يكون قادراً على دمج

ال NH_3. الموجود بتركيزات منخفضة جداً في نتروجين الفا أمينو α-amino N (Miflin, 1975). وإن وجود أنزيم glutamine synthetase في البلاستيدات الخضراء يضمن أن تركيز NH_3 الأمونيا المتكون بوساطة أنزيم أختزال النيتريت (نيتريت ريدكيتز nitrite reductase) يمكن أن يدمج بدون تعزيز مستويات من الامونيا التي قد تفصل الفسفرة الضوئية (أنظر 3.2.3). وقد أقترح كل من Lea and Miflin (1974) أن أنزيم glutamine synthetase هو المستقبل الرئيسية للأمونيا NH_3 في البلاستيدات الخضراء، وأن أنزيم يزود الطريق الأكثر أهمية لتمثيل NH_3 في النباتات الخضراء.

وطبقاً لما جاء به Weissman (1976) فإن glutamine synthetase يلعب دوراً رئيسياً في عمليات الأيض في الجذور. ويعمل هذا النظام أيضاً في البكتريا والخميرة والبكتريا حرة المعيشة المثبتة للنتروجين الجوي (N_2). وقد وجد حتى الآن أن glutamine synthetase في البلاستيدات الخضراء (Chloroplasts) والبلاستيدات. وطبقاً لما جاء به Miflin and Lea (1977) يمكن أن يوجد في السيتوبلازم. ونشاط أنزيم البلاستيدة الخضراء يكون ذا علاقة قريبة بعملية البناء الضوئي، حيث يكون النشاط للأنزيم أعلى عند pH 8، والذي يقضي ضمناً بأن تحت الظروف الضوئية يكون له أعلى نشاط. والأنزيم كما هو مبين في الشكل 27.3 يحتاج إلى ATP، لذا فإن نشاطه يعتمد أيضاً على حالة الطاقة في النظام (Weissman, 1976) ويمكن قياس حالة الطاقة بوساطة شحنة الطاقة. المعرفة بهذه النسبة.

$$\frac{ATP + 1/2\ ADP}{ATP + ADP + AMP}$$

في الشحنة العالية تحفّز عملية تمثيل الامونيا أما الشحنة المنخفضة فهي تحد من عملة تمثيل الأمونيا.

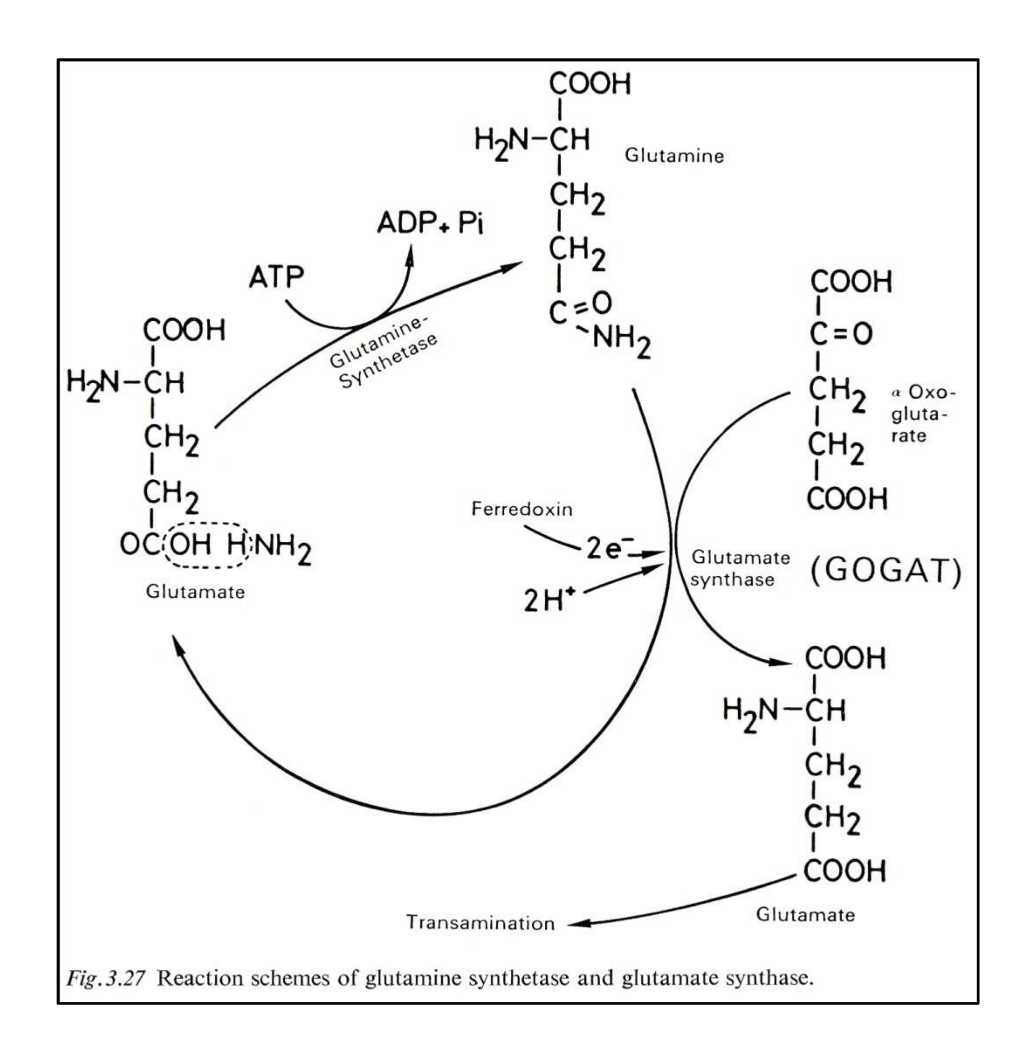


Fig. 3.27 Reaction schemes of glutamine synthetase and glutamate synthase.

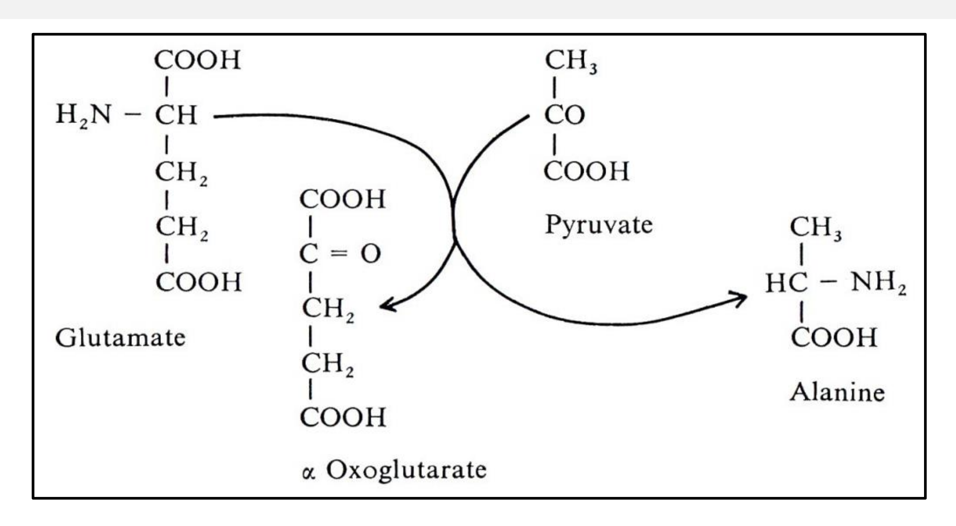
وقد وجد كل من Sodek and Dasilva 1977 نشاطاً عالياً لأنزيم glutamate synthetase (GOGAT) في حبوب الذرة الصفراء النامية. حيث أقترح هؤلاء الباحثون أن

glutamine يتم توريده بسرعة إلى داخل الاندوسبرم (endosperm) حيث يتم أيضاً بوساطة أنزيم glutamate synthetase. وبعد ذلك فإن glutamate الناتج يمكن أن ينقل إلى مجموعة الآمينو الموجودة فيه إلى أحماض الأكسو (OXO acids) مثل البيروفيت pyruvate أو كسالواستيات Oxalocaetate. وتتفق هذه النتيجة مع ما وجده (Mengel et al., 1981) حديثاً الذي قرر أن هناك على وجه الخصوص تحول مرتفع للنتروجين في ال glutamineفي حبوب الذرة الصفراء النامية. ويبدو أن glutamine يلعب دوراً مهيمن في تعبئة بروتينات المخزونة في البذور أثناء الإنبات. (Roubelakis and Kliewer 1978).

5.3.3 الأحماض الأمينية والأميدات

إن النتروجين الأمين (النتروجين في مجموعة الأمينو). يمكن أن يتحول إلى أحماض OXO (أحماض الكيتو Keto acids) بوساطة عملية نقل مجموعة الأمين (transamination). ويوضح المثال التالي عملية تحول مجموعة NH_2 من glutamate إلى حامض يحتوي على الأكسجين OXO acid pyruvate ليكون حامضاً أمينياً ألين (alanine).

وفي التفاعل يتكون (يصنع) حامض أميني جديد وهو الالينين (Alanine) وإن عملية نقل مجموعة الأمين (transamination) تقدم وسيلة لتكوين عدد من الأحماض الأمينية التي ربما تكون مجاميع الNH_2 لكثير من الأحماض الأمينية المشتقة أصلاً من الجلوتاميت.

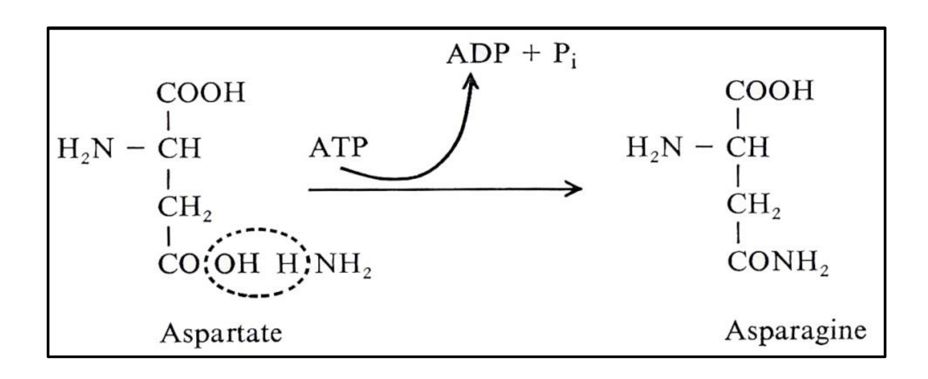


وإن أهم مستقبلات NH_2 (أحماض OXO) لعمليات نقل مجموعة الأمين وأحماضها الأمينية المقابلة مذكورة أدناه:

Oxo acid	*Amino acid*
α-oxoglutarate	glutamate
oxaloacetate	aspartate
glyoxylate	glycine
pyruvate	alanine
hydroxy pyruvate	serine
glutamate γ-semialdehyde	ornithine
succinate semialdehyde	γ-amino-butyrate
α-keto β-hydroxy-butyrate	threonine

الحامض الاكسو (**الحاوي على الاوكسجين**) OXO acid **الحامض الاميني** Amino acid

عندما تكون كمية زائدة متاحة من NH_3 فإن الجلوتاميت (glutamate) وأسبرتيت (aspartate) يمكن أن تعملا كمستقبلات NH_3 . وفي هذا التفاعل تتكون أميدات الاسبراجين (amides asparagine) والجلوتامين (amides glutamine) وهذه العمليات تحتاج إلى ATP الذي يحلل مائياً في هذا التفاعل:



بما ان NH_3 مادة سامة لخلايا النبات فان تكوينglutamine وaspartate تمكن مت ازالة المادة السامة ولهذا السبب فان العملية تكون مهمة. ان تراكم glutamine و aspartate يحدث دائما عند تجهيز النباتات بمستويات عالية من النتروجين غير العضوي وخاصة NH_4-N. وطبقا للابحاثPlatt et al., 1977 على اقراص ورقة الصفصفة (*Medicago sativa*) ان له وظيفية تنظيمة لتحفيز تكوين oxaloacetate الذي aminated بعد ذلك إلى aspartate.

6.3.3 تمثيل الكبريت

إن الكبريتات هي الصور الأهم لكبريت النباتات الراقية. وإن تمثيل الكبريت يكون

مشابهاً لتمثيل النترات في عدة نواحي على الرغم من أن تفاصيل آلية (ميكانيكية) غير مفهومة بشكل جيد. وإن الكبريتات التي تمتص بوساطة خلايا النبات يجب أن تختزل بسبب أن معظم جزيئات العضوية المحتوية على الكبريت S يوجد الكبريت S فيها بصورة مختزلة. وتضم هذه المركبات العضوية السستئين cysteine والسستين cystine والمثيونين methiomine وأيضاً البروتينات المحتوية على هذه الأحماض الأمينية (أنظر 2.2.8).

إن المخطط المبسط لأختزال الكبريتات SO_4 في النباتات الراقية قد بينت في الشكل 28.3. ولقد أصبح الآن مقبولاً بصفة عامة أن الخطوة الأولى في عملية دمج الكبريت هي تفاعل بين H_2SO_4 وATP كما هو موضح في الشكل 28.3 (أ). وتحل مجموعة السلفهيل (sulphuryl group) الـ H_2SO_4. تحل محل مجموعة البيروفوسفوريك pyrophosphryl في الـ ATP. لذا لتكوين الأدينوزين فسفوسلفات edenosine phosphosulphate وبيروفوسفات Pyrophosphate ويحفز هذا التفاعل بأنزيم يسمى ATP السلفوريلايز Sulphurylase. وأن مجموعة السلفوريل للأدينوزين فسفزسلفات (APS) تنتقل إلى معقد حامل الـSH^-. وفي هذه العملية التي يحفزها أنزيم الناقل APS (APS transferase) يتم إحلال مجموعة السلفوريل محل الهيدروجين في معقد الحامل الـSH . وهذه بدورها تختزل إلى SH والقوة المختزلة يوفرها الفيريدوكسين (ferredoxin) أنظر على 28.3.

Fig.3.28 Simplified scheme showing the sulphate reduction pathway
a) ATP sulfurylase reaction producing adenosine phosphosulphate.
b) Transfer of the sulphuryl group to the Car-SH complex and reduction steps.

(أ) أنزيم تفاعل ATP الذي ينتج كبريتات الفوسفو ادينوزين.

(ب) نقل مجموعة السلفريل إلى المعقد الحامل للSH وخطوات عملية الأختزال.

وفي الخطوة الثالثة، فإن مجموعة SH للمعقد الحامل تنتقل إلى أستيل سيرين actyl serine، وفي هذه العملية يعاد أنشاء المعقد الأصلي لمجموعة SH من جديد وينفصل أستيل سيرين actyl serine إلى السستئين cysteine والخلات acetate، وأن التفاعل الانفصال (الأنقسام) هذا يحتاج إلى مكافئين مختزلين أضافين مصدرهما الأصلي يحتمل أن يكون الفيريدوكسين أيضاً. وأن محصلة صافي العملية لكل دورة أختزال يمكن وصفها بالمعادلة الآتية:

$$H_2SO_4 + ATP + 8H + \text{actyl serine} \rightarrow \text{Cysteine} \rightarrow$$
$$\text{Cysteine} + \text{acetate} + 3H_2O + (P) \sim (P)$$

توضح هذه المعادلة أن تعمل الكبريتات تحتاج إلى طاقة في صورة ATP ومكافئات مختزلة. ولهذا فإن عملية الأختزال تعتمد على عملية البناء الضوئي وخاصة على مستوى ATP (Schiff anf Hdson 1973) وتختزل الكبريتات بشكل رئيس أثناء الفترة الضوئية، وذلك لأن أنزيمات أختزال الكبريتات توجد في البلاستيدات الخضراء. ولا زال غير معروف حتى الآن إذا ما كانت أعضاء أخرى يكون لها المقدرة على أختزال الكبريتات. ولكون الجذور المعزولة بإمكانها أيضاً أن تنمو في الكبريتات كمصدر وحيد للكبريت، ولذا أقترح أن أختزال الكبريتات يحدث في الأنسجة غير الخضراء، والتي ربما تكون بروبلاستيدات proplastids (Schmidt, 1979).

يحدث أختزال الكبريتات بوساطة العديد من الطحالب الحية التي تشمل النباتات الراقية والطحالب والفطريات والطحالب ذات اللون الأرزق المخضر، والبكتريا. وإن عمليات

التحول الغذائي (الأيضي) للحيوانات، تعتمد على ما يؤخذ من المصدر الكبريت المختزل، وبعيداً عن الكبريت S الممثل للكائنات الحية المذكورة أعلاه. إن السستئين cysteine هو الناتج الأول الثابت الذي يوجد فيه الكبريت بصورة عضوية مختزلة. وإن السستئين هي المادة التي تشكل فيها المثيونين methionine، وحوامض الأمينية الأخرى المهمة التي تحتوي على الكبريت.

قراءات عامة

General Reading

ANDERSON, .J.W.: Sulphur in Biology. Studies in Biology, p. 101 Edward Arnold, London 1978.

ANDERSON, W.P.: Ion Transport in Plants. Proc. Intern. Meeting University of Liverpool, Academic Preas, London, New York and San Francisco 1972.

ARNON, D.I.: Photosynthesis 1950-1975: Changing concepts and perspectives. In: Photosynthesis I, Plant Physiol. New Series, Vol. 5 (A. TREBST and M. AVRON, eds.) p. 7-56. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977.

BAKER, D. A. and HALL.I. L.: Eds.: Ion Transport in Plant Cells and Tissues. North Holland Publishing Co, Amsterdam 1975.

BASSIIAM, .I .A.: The reductive pentose phosphate cycle and its regulation. In: Photosynthesis II. Ncw Series, Vol. 6 (M. GmBS and E. LATZKO, eds.) p. 9-30. Springer-Verlag Berlin, Hcidclberg, New York 1979.

BAUMANN, G.: (G) Photorcspiralion and glycollate metabolism in higher plants. BioI. Rdsch. 18,1-12 (1980).

BEon, .I.E. and TURNII(, N.C.: Crop water deficits. Adv. Agron. 28, 161-217 (1976).

BLACK, C. c.: Pholosynlhctic carbon fixation in relation lo nel CO, uplakc. Ann. Rev. Planl I'hysinl., 24, 253-286 (1973)

BOWLING, D. J. F.: Uptake of Tons by Plant roots. Chapman and Hall, London 1976.

CHATT, J., RICHARDS, R.L. and G. DA CAMARA PINI, L.M.: New Trends in the Chemistry of Nitrogen Fixation. Academic Press, London, New York and San Francisco 1980.

CLARKSON, D.T.: Ion Transport and Cell structure in Plants, McGraw

Hill, 1974.

CLARKSON, D.T.: Membrane structure and transport. In: The Molecular Biology of Plant Cells (H. SMITH, ed.) p. 24-63. Blackwell, London 1977.

EDWARDS, G.E. and HUBER, S.e.: C-4 metabolism in isolated cells and protoplasts. In: Photosynthesis II, New Series, Vol. 8 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 102-112. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979.

EPSTEIN, E.: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto 1972.

GUERRERO, M.G., VEGA, J.M. and LOSADA, M.: The assimilatory nitrate reducing system and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 32, 169-204 (1981).

HATCH, M.D., OSMOND, C.B. and SLATYER, R.O.: Photosynthesis and Photorespiration. Wiley 1nterscience, New York 1971.

HIATT, A.J. and LEGGETT J.E.: Ionic interactions and antagonism in plants, p.l0l-134. In E. W. CARSON: The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia, CharLOttesviIJe 1974.

HIGINBOTHAM, N.: Electropotentials of plant cells. Ann. Rev. Plant Physiol., 24, 25-46 (1973) HIGINBOTHAM, N.: The mineral absorption process in plants. Bot. Rev. 39, 15-69 (1973).

HODGES, T. K.: Ion absorption by plant roots. Adv. Agron., 25, 163-207 (1973).

HOLL, W.: (G) The symbiosis between legumes and bacteria of the genus Rhizobium. Naturw. Rdsch., 8, 281-289 (1975).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Fertilizer Use and Protein production. lith Colloquium Intern. Potash Inst., Berne 1975.

JAGENDORF, A.T.: Photophosphorylation. In: Photosynthesis I, Plant Physiol. New Series Vol. 5 (A. TREBST and M. AVRON, eds.) p. 307-337. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977.

JENSEN, R.G. and BAHR, J.T.: Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase-

oxygenase. Ann. Rev. Plant Physiol. 28, 379-400 (1977).

KELLY, G.J., LATZKO, E. and GIBBS, M.: Regulatory aspects of photosynthetic carbon metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 27,181-205 (1976).

KLUGE, M.: The flow of carbon in Crassulacean Acid Metabolism (CAM). In: Photo J synthesis 11, Plant Physiol, New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 112-123 Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979.

LUTTGE, U. and PITMAN, M. G., eds.: Transport in Plants IT, Part A, Cells; Part B, Tissues and Organs. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol 2, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1976.

McLACHLAN, K.D.: Sulphur in Australasian Agriculture. Sidney Univ. Press 1975.

MIFLIN, B. .I.: Potential for improvement of quantity and quality of plant proteins through scientific research, p.53-74. In Fertilizer Use and Protein Production. lith Colloquium Intern. Potash Inst., Berne 1975.

MITCHELL, P.: Protonmotive chemiosmotic mechanisms in oxidative and photosynthetic phosphorylation. Trends in Biochemical Sciences 3, N58-N61 (1978).

MORTENSON, L.E. and THORNELEY, R.N.F.: Structure and function of nitrogenase. Ann. Rev. Biochem. 48, 387-418 (1979).

NEYRA, e.A. and DOBEREINER, J.: Nitrogen fixation in grasses. Adv. Agron. 29, 1-38 (1977).

OSMOND, C.B.: Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 379-414 (1978).

PARTHIER, B.: (G) The biological fixation of atmospheric nitrogen. BioI. Rdsch. 16, 345-364 (1978).

PHILLIPS, D.A.: Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in legumes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31,29-49 (1980).

POOLE, R.J.: Energy coupling for membrane transport. Ann. Rev. Plant

Physiol. 29, 437-460 (1978).
RADMER, R. and KOK B.: Energy capture in photosynthesis: Photosystem II. Ann. Rev. Biochern., 44, 409-433 (1975).
RASCHE, K.: Stomatal action. Ann. Rev. Plant Physiol., 26, 309-340 (1975).
SCHIFF, J.A. and HODSON, R.C.: The metabolism of sulphate. Ann. Rev. Plant Physiol., 24, 381-414 (1973).
SHANMUGAM, K.T., O'GARA, F., ANDERSEN, K., and VALENTINE, R.C.: Biological nitrogen fixation. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 263-276 (1978).
SHA VIT, N.: Energy transduction in chloroplasts: Structure and function of the ATPase complex. Ann. Rev. Biochem. 49, 111-138 (1980).
SMITH, F.A. and RAVEN, J.A.: Intercellular pH and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 30, 289-311 (1979).
STOCKING, C.R. and HEBER D.: Transport in plants m. Intracellular Interactions and Transport Process. New Series, Vol. 3, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1976.
TOLBERT, N.E.: Glycolate metabolism by higher plants and algae. In: Photosynthesis ll, Plant Physiol. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 338-352. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979.
WALKER, D. A.: Three phases of chloroplast research. Nature 226, 1204-1208 (1970).
WINTER, H. C. and BURRIS, R. H.: Nitrogenase. Ann. Rev. Biochem. 45, 409-426 (1976).
WOOLHOUSE, H. W.: Light gathering and carbon assimilation processes in photosynthesis; their adaptive modifications and significance for agriculture. Endeavour, New Series 2, 35 - 46 (1978).
ZELITCH, I.: Photorespiration: Studies with whole tissues. In: Photosynthesis ll, Plant Physiol. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 351 - 367. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979.

الفصل الرابع

علاقات النبات بالماء

1.4 العمليات الأساسية في علاقات النبات بالماء

1.1.4 نظرة عامة:

إن أهمية الحياة ترتبط أساساً بالماء، وخاصة بالماء في طور السائل، والماء هو الشكل الذي فيه ذرة الهيدروجين وهو عنصر أساسي لكل الجزيئات العضوية، وبعض امتصاص الماء يتم تمثيله في عملية البناء الضوئي (انظر4.2.3). ويمكن اعتبار الماء مغذياً نباتياً مثل CO_2 أو NO_3 والمغذيات النباتية الأخرى. وكمية الماء التي يحتاج إليها في عملية البناء الضوئي تكون قليلة وتقدر بحوالي 0.01 % فقط من الكمية الكلية للماء المستعمل من قبل النبات، ومعظم الوظائف التي يشترك فيها الماء ذات طبيعة فيزيائية. والماء هو مذيب لكثير من المواد مثل الأملاح غير العضوية (المعدنية) والسكريات وأنيونات عضوية، وهو أيضاً الوسط الذي يحدث فيه كل التفاعلات الكيموحيوية. وتدمص جزيئات الماء إلى السطوح (الحبيبات) مكونة أغلفه مائية، تؤثر في التفاعلات الكيميائية والفيزيائية، والماء في صورته السائلة يسمح بالانتشار والتدفق الكتلي (الجريان الكتلي) للمواد الذائبة، ولهذا السبب يكون الماء ضرورياً للانتقال وتوزيع المغذيات، ونواتج عملية الأيض خلال الأجزاء الداخلية للنبات ككل، والماء مهم أيضاً في الفجوات العصارية لخلايا النبات حيث يبذل عموماً ضغطاً على البروتوبلازم وجدر الخلية (الضغط الانتفاخي Turgor Pressure) وبذلك يحافظ على صلابة الأوراق والجذور وأعضاء النبات الأخرى وهذه بعض الأمثلة التي توضح أهمية الماء في فسلجة النبات بشكل عام.

2.1.4 الجهد المائي

إن فكرة الجهد المائي كان لها الأثر الكبير حيث أعطت مزيداً من الفهم للعمليات الأساسية التي يشترك فيها الماء (Slatyer, 1962). إن مصطلح الجهد المائي يصف حالة الطاقة للماء وقدر إدخاله في المراجع لإعطاء موحداً لدراسات علاقات الماء والنبات والتربة ويمكن أن بعرف الجهد المائي بأنه فرق الجهد الكيميائي لكل وحده حجم واحد يبين الماء المعطاة والماء النقي الحر عند نفس درجة الحرارة، وهذه يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$\Psi = \frac{\mu_w - \mu^o{}_w}{V_w}$$

حيث أن:

Ψ = الجهد المائي.

μw= الجهد الكيميائي للماء المراد دراسته.

μow= الجهد الكيميائي للماء النقي الحر عند نفس درجة الحرارة.

Vw= الحجم المولاري الجزئي للماء في النظام (Partial molar volume).

إن وحدات الجهد الكيميائي هي جول لكل مول، في حين أن الحجم المائي الجزئي المولي للماء يعبر عن كجم (م^3) لكل مول وبالتعويض بهذه المعادلة أعلاه تصبح المعادلة كالآتي:

الطاقة (λ جول/"J") = القوة (نيوتن "N") × المسافة (متر "m").

حيث أن:

N: نيوتون، وحدة القوة.

بتعويض هذه الصيغة "J" جول في المعادلة أعلاه فإن الجهد المائي يعطي بالمعادلة التالية:

$$= \frac{N \times m}{m^3} = \frac{N}{m^2}$$

وهذه تمثل القوة وحدة مساحة، ومثل هذا الضغط يعرف بوحدة القياس العالمية التي هي Passcal (P_a)

$$P_a = N \times m^{-2}$$

وحيث أن الباسكل هي وحدة صغيرة جداً، فإن وحدة البار هي الأكثر استعمالاً في قياسات الجهد المائي.

1 بار = $10^5 P_a$

فإن الجهد المائي للماء، النقي يكون صفراً.

وربما يتعرض الماء للضغط الهيدروستاتكي أو للضغط الامتصاص (الشفط). وفي الحالة الأولى يكون الجهد المائي موجباً، وفي الحالة الأخيرة يكون سالباً. ويتأثر الجهد المائي أيضاً بالمواد الذائبة في الماء، وجود هذه المواد الذائبة تخفف من تركيز جزيئات الماء، وبالتالي تقلل من الجهد المائي. وتؤخذ في الاعتبار المكونات الثلاثة وهي الضغط الهيدروستاتكي والشفط وتركيز المادة الذائبة، فأنه يمكن توضيح الجهد المائي بالمعادلة التالية :

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m$$

حيث أن:

Ψ_p هو الجهد الضغط الذي يكون مساوياً عددياً للضغط الهيدروستاتكي. يزيد الجهد المائي

بزيادة الضغط الهيدروستاتكي، ولهذا السبب فأن مصطلح Ψ_p ذو قيمة موجبة.

Ψ_s هو الجهد الناتج من وجود المواد الذائبة (المذيبات) ويسمى بالجهد الأسموزي أو جهد المواد الذائبة و إدخال المواد الذائبة في الماء يؤدي إلى التقليل من تركيز الماء أو بصورة أكثر دقة تقلل من نشاط جزيئات الماء. وهذا بدوره تقليل من الجهد المائي، وعلى سبيل المثال فإن محلول السكروز ذو تركيز 0.1 موال متكون جهده المائي 2.27 بار أقل من الماء النقي عند نفس درجة الحرارة والضغط وإن قيمة الضغط الأسموزي (Ψ_s) يكون دائماً سالبة، لأنها أقل من صفر وهي قيمة الجهد المائي للماء النقي.

Ψ_m وهو جهد المادة (matric potential) ويمثل الشفط وهو أحد مكونات الجهد المائي المتكون بوساطة تأثيرات السطوح الصلبة على الطور المائي، ويمكن أن يرتبط الماء بجزيئات كبيره مثل البروتينات والسكريات العديدة بوساطة أواصر الهيدروجين. وبهذه الطريقة بمسك الماء على الجدر الخلية والأغشية. وبجانب هذا التأثير الأدمصاص، فإن الماء يمكن أن يحمل كذلك بالخاصية الشعرية بوساطة تأثيرات الشد السطحي، وتسمى هذه القوى بقوى المادة matric Forces والتي تحد من حركة الماء، وتؤدي إلى انخفاض الجهد المائي، ولهذا فإن علاقة Ψ_m في المعادلة أعلاه تكون سالبة.

في المادة النباتية الطازجة (الحديثة) تكون نسبة الماء المقيد بوساطة matric منخفضة جداً (Wiebe and Al-Saadi 1967). ولهذا السبب يلعب (Ψ_m) دوراً مهماً في بعض أنواع النباتات عندما تكون الأنسجة قد استنفذت أكثر 50% من محتواها المائي العادي (HSIAO, 1975) ولهذا يمكن أن يهمل تأثير الجهد المائي في النباتات. ومن ناحية

أخرى في نظام التربة فإن جهد المادة (Ψ_m) هو مكون مهم للجهد المائي للتربة (Gardner, 1965).

وإذا أخذنا في الاعتبار الجهد المائي لنسيج نباتي أو على سبيل المثال خلايا النسيج الوسطى للورقة، فإن نسبة عالية من الماء تكون موجودة في الفجوات العصاريه (90 %). والتي تحتوي أيضاً على كميات كبيرة من المواد الذائبة، ويجد الماء أيضاً في السيتوبلازم (5 %) وجدران الخلية (5 %) التي تكون معرضه لقوى المادة Ψ_m إن كلاً من قوة المواد الذائبة (المذيبات) وقوة المادة تخفضان الجهد المائي تجعله قيمته أكثر سالبه. ولهذا السبب فإن الجهد المائي للأعضاء النباتية (الأوراق والسيقان والجذور). تكون دائماً سالبه. ومن ناحية أخرى فإن الضغط الهيدروستاتكي في الفجوات العصارية يمكن أن يكون مرتفعاً تحت ظروف خاصة فيؤدي ذلك إلى حصول الجهد المائي الموجب القيمة.

إن الجهد المائي في النباتات يتراوح مداه من –1 إلى –15 بار وفي بعض الحالات الشديدة سجلت قيماً منخفضة بمقدار –30 بار وهذه القيم يعتمد بشكل كبير جداً على ظروف بيئة النبات، وعلى سبيل المثال فإن فقدان الماء البسيط من الأنسجة الممتلئة بالكامل، يمكن أن يكون له تأثير بسيط على محتوى ماء للأنسجة، حيث تستطيع أن ينخفض الجهد المائي بوضوح، وهذا نتيجة انخفاض الضغط الهيدروستاتكي (ψ_p). وإن أنسجة النبات المختلفة تتجه إلى أن يكون لها جهدها المائي المميز. وإن الجهد المائي للوراق يكون عادةً منخفضاً (قيمة سالبه أكثر) أكثر من الجذور.

أحد أهم السمات لاستعمال الجهد المائي هو أنه يمثل القوى المحركة لانتقال الماء،

وإن حركة الماء في خلايا وأنسجة النبات ككل تحدث من الجهد المائي المرتفع إلى الجهد المائي المنخفض وطبقاً لفرضية Van Den Hanert 1948 بأن حركة الماء بين أي نقطتي يعتمد على الاختلاف في الجهد المائي، وعلى مقاومة التدفق. مثل هذه المقاومات في الأنظمة النباتية هي جدران الخلية والأغشية الحيوية و (الكيوتكل) الخ.

ولهذا فأن معدل تدفق الماء ربما يوصف بالمعادلة التالية:

$$F = \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{R}$$

حيث ψ_1 و ψ_2 = الاختلاف (الفرق) في الجهد المائي بين نقطتين.

F = معدّل التدفق.

R = المقاومة.

4. 3.1 الأسموزية

تحدث الأسموزية عندما يوجد محلولان يختلفان في الجهد المائي ومنفصلان بوساطة غشاء منفذ الذي يسمح بمرور أو اختراق جزيئات، ولكن لا يسمح باختراق المذابات (المواد الذائبة) بالماء. وهذا موضح في الشكل 1.4. ومن أجل التبسيط في المثال المقدم في الشكل، فإن جزءاً واحداً من النظام يحتوي على الماء النقي (الجانب الأيسر لشكل 1.4) والجزء الآخر يحتوي على محلول السكروز (الجانب الأيمن لشكل 1.4) على أن كلاً من الماء النقي ومحلول السكروز بم قد تم يضمها لنفس درجة الحرارة، والضغط الجوي، حيث أن الجهد المائي لمحلول السكروز يكون منخفضاً عن الجهد المائي للماء النقي، ومن أجل

الحصول على صافي اتزان، فأن حركة عبر الغشاء شبه منفذ، تبدأ من الماء النقي إلى محلول السكروز الموضحة تخطيطاً في الشكل 1.4 (أ). وأن محصلة تحرك الماء تقف حالما يكون الجهد الكيميائي للماء في كلا الجانبين للغشاء متساوياً. وعنده هذه المرحلة كما هو موضح في الشكل 1.4 (ب). فأن الضغط الانتفاض (امتلاء) محلول السكروز يرتفع.

ويمكن اعتبار أن الخلية النباتية نظاماً أسموزياً، حيث إذا ما عرضت الخلية الحية إلى الماء النقي فأن سوف يكون هناك محصلة امتصاص الماء بوساطة الخلية. وهذا يحصل نتيجة وجود المذابات (المواد الذائبة) في الخلية، وهذا يعني بأن الجهد المائي للخلية أقل من الجهد المائي للماء النقي. وتؤثر محصلة امتصاص (المواد الذائبة)، وبهذا فإن الجهد الأسموزي (ψ) في الخلية يزداد (يصبح أقل سالبية) ويزيد أيضاً الضغط الهيدروستاتكي أو الضغط الانتفاخي (الامتلاء) في الخلية. وكلى هاذين التأثيرين يؤديان إلى رفع الجهد المائي في الخلية. والحمولة من الضغط الانتفاخي يحمل بوساطة جدار الخلية والخلايا المجاورة. وفي الخلايا الممتلئة بالكامل، فإن جزيئات الماء تولد ضغطاً عالياً على جدران الخلية ولكن جدران لها مطاطية، ويمكنها أن تتوسع من حجم الخلية بمقدار 20 – 30 % والشكل 2.4 يبين التغيرات التي تحصل في ضغط الانتفاخ (الامتلاء) (الضغط الهيدروستاتكي) ψ_p والجهد الأسموزي (ψ_s) والجهد المائي ($\psi_s + \psi_p$) عند حدوث الانتفاخ للخلية.

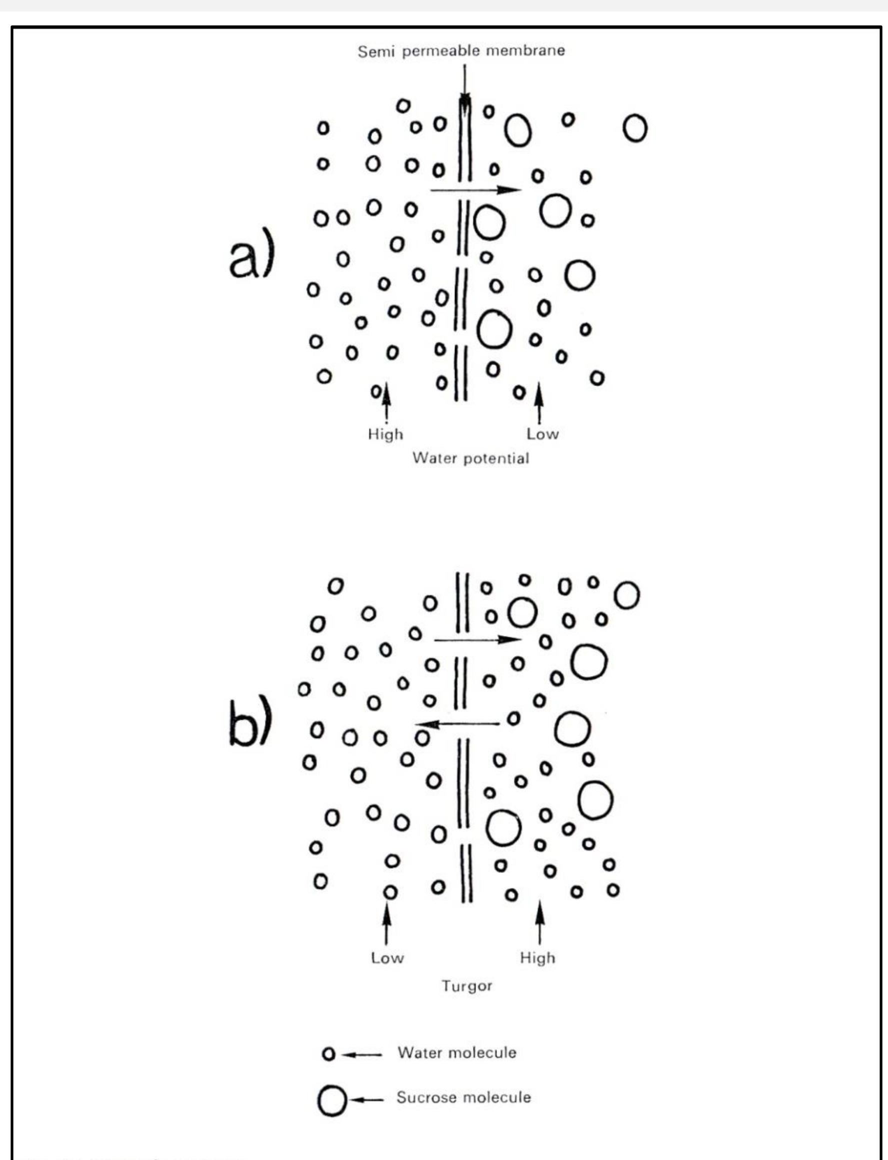


Fig.4.1 Osmotic system:
a) Net water movement from a higher to a lower water potential.
b) Equilibrium between both water potentials due to the high turgor in the sucrose solution – no net water movement.

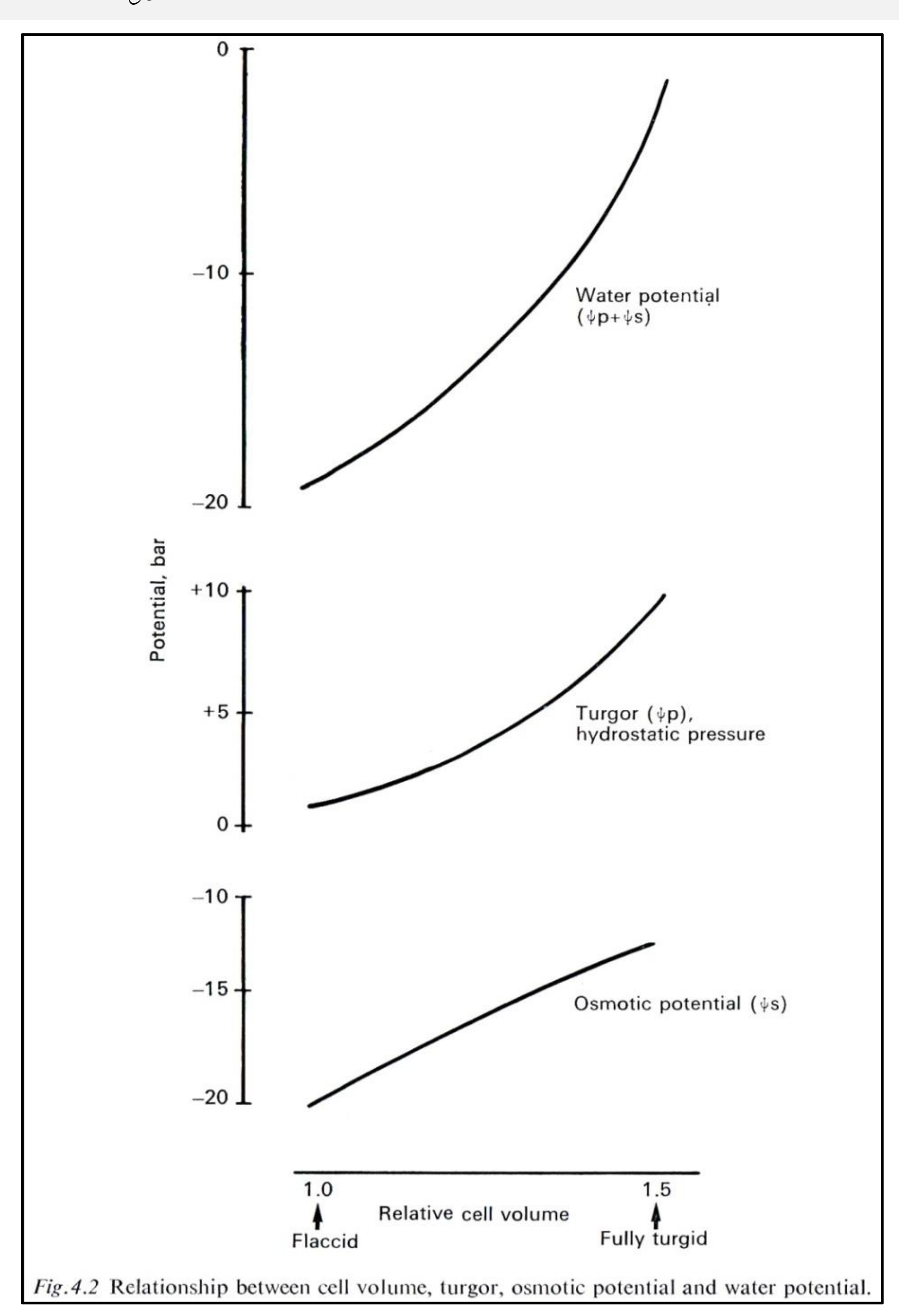


Fig.4.2 Relationship between cell volume, turgor, osmotic potential and water potential.

ومن الواضح أن الزيادة في الجهد المائي تكون أكثر وضوحاً من الزيادة في الجهد الأسموزي. ويرجه هذا إلى حقيقة أن الجهد الأسموزي يتأثر أيضاً بالزيادة في حجم الخلية عند انتفاخها.

عندما يكون الجهد المائي للوسط المحيط منخفضاً عن الجهد المائي للخلية (المحلول الذي يكون تأثره مرتفع hypertonic Solution) فإن صافي محصلة حركة الماء تكون من الخلية إلى الوسط الخارجي. هذا الفقدان في الماء ينتج في البداية انكماش في حجم الخلية، ويتبعها لاحقاً تقلص للسيتوبلازم وبواسطتها ينفصل عن جدار الخلية، وتسمى هذه الظاهرة بالبلزمة Plasmolysis. وإذا لم تضرر الخلية، فإنه يمكن عكس العملية حيث أن ترجع الخلية إلى حالتها الطبيعية ومثل هذه الخلايا المتبلزمة تكون لها القدرة على الانتفاخ (امتلاء) الكامل عندما تعرض الخلية للماء النقي أو محاليل يكون تأثرها قليلاً (hypertonic Solution). وأن تركيز المذابات (المواد الذائبة) في خلايا النبات يكون عادة بمعدل 0.2 – 0.8 مول في الغالب. والتركيزات العالية من هذه المذابات في المحلول الخارجي تسبب البلزمة.

وكلا المذابات العضوية والمعدنية (غير العضوية) تؤثر على الجهد الأسموزي لخلايا النبات. وطبقاً لـ Zimmermann, 1978 فإن المذابات غير العضوية وبالخصوص K^+ و Na^+ و Cl^- تكون سائدة في الفجوات العصارية، بينما توجد في السيتوبلازم الجزيئات العضوية مثل الجلسيرول والجلسين – بيتاين والأحماض الأمينية والسكروز كلها تساهم في الجهد الأسموزي. وتسمى هذه المذابات العضوية (المواد الذائبة) بالمذابات المتجانسة Compatible Solutes كونها لا تضر بالسيتوبلازم حتى إذا كانت بتركيزات عالية. وكلا

النوعين من الأسموزيات Osmotica (أي المذابات = النشطة (الفعالة) أسموزياً) العضوية وأيضاً غير العضوية تلعب دوراً رئيسياً في التنظيم الأسموزي (Osmorequlation) (Zimmermann 1978). وقد يعرف هذا بأنه تعديل للخلية مع ظروف الماء المحيط. وإذا ما كان الجهد المائي للوسط الخارجي على سبيل المثال (وسط التربة) منخفضاً، فإن تركيز هذه المذابات الفعالة أسموزياً (الأسموزيات) يمكن أن يزداد بزيادة الجهد المائي في الخلية، وبالتالي تقلل الجهد المائي في الخلية ومشجعه عملية امتصاص الماء. وهذا التعديل أو الضبط الأسموزي مهم للنباتات النامية في الظروف الملحية (أنظر6.4) أو المعرضة للشد المائي. ويمكن أن يحدث عكس هذه العملية عندما يكون الجهد المائي للوسط الخارجي مرتفعاً. وربما تأخذ الخلية كمية كبيرة من الماء ويمكن أن يحدث انتفاخ الخلية إلى ضرر في الغشاء ولتجنب مثل هذا الضرر، فأن النباتات تستطيع أن تخفض من تركيزها من الأسموزيات وبهذه الوسيلة يخفض تدفق الماء أو احتباسه.

الاصطلاح القديم ما زال يستعمل في وصف العلامة الأسموزية في النباتات. التغيرات الرئيسية هي الضغط الأسموزي والضغط الانتفاخي وضغط المص (الشفط). وأن الضغط الأسموزي (OP) هو المكون الأساسي الذي يبذل على الخلية من الجانب الخارجي بجدار الخلية. ويعمل ضغط الانتفاخ (امتلاء) (TP) في الاتجاه المعاكس من الجانب الداخلي لجدار الخلية. والفرق بينهما هو ضغط المص (الشفط) (SP)، وهو الذي يكون مسؤولاً عن محصلة حركة الماء والذي يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$Sp= OP- TP$$

وإذا كان ضغط المص (الشفط) موجباً، فهذا يدل على أن الماء أمتص، وإذا كانت القيمة سالبه، فهذا يعني أن الماء يفقد من الخلية. وأن ضغط المص (السحب) قد سمى اصطلاحا بالعجز بضغط الانتشار DPD (Meyer 1945)، وقد بينت المقارنة بين المصطلحات الحديثة والقديمة في جدول 1.4 المعدل من قبل New man 1976.

Table 4.1 Terms used in water potential terminology compared with older terms (after Newman [1976])

Term	Range	Old term	Range	Any sign difference?
Osmotic Potential	Below O	Osmotic Pressure	Above O	Yes
Matric Potential	Below O	No term in plants Soil suction (in soils)	Above O	Yes
Pressure Potential	Above or below O	No general term but includes Turgor Pressure	Above or below O	No
Water Potential	Usually below O but can be above	Suction Pressure Diffusion Pressure Deficit	Usually above O	Yes

4. 1.4 الأدمصاص والتشرب.

كما ذكر سابقاً بأن جزءاً بسيطاً من الماء في أنسجة النباتات الفضة يكون مدمصاً على أسطح جدار الخلية، وعضيات الخلية والجزيئات والأيونات. ويبدو أن المادة النباتية الجامة تتجه إلى امتصاص جزيئات الماء من محيطها. ولهذه العملية أهميتها البيولوجية. وعلى سبيل المثال بأن البذور الجافة المدفونة في التربة تقوم بامتصاص الماء من وسط المحيط، حيث تخترق جزيئات الماء المسافات البينية للجدر الخلوية، وتقسيم كذلك المكونات الخلوية، وهذا يعود إلى قوى الادمصاص. حيث تسبب هذه القوى في انتفاخ البذرة، وإذا ما قيدت أو

عجزت هذه القوى يمكن لها أن تولد ضغطاً بمعّدل عدة مئات من وحدة البار (Sutciffe, 1974). وهذا النوع من الامتصاص للماء يزود البذور بالماء الكافي للتفاعلات الكيموحيوية التي بدورها تسبب عملية الإنبات. وانتفاخ مادة الجلاتين لتشربها بالماء هي عملية مشابه لما يحصل في البذور، وامتصاص الماء نتيجة الادمصاص تسمى بالتشرب.

2.4 توازن الماء

1.2.4 نظرة عامة

إن الجهد المائي للغلاف الجوي يكون في الغالب أقل عن الجهد المائي للتربة، وهذا الفرق في الجهد المائي هو القوى المحركة والتي تسبب حدوث انتقال الماء من محلول التربة عبر النبات إلى الغلاف الجوي. وعموماً لا يكون الجهد المائي للورقة منخفضاً بكثير عن الجهد المائي للتربة. ولكن يحدث فرق كبير في الجهد عبر المتاخمة حول الورقة وفجوات الثغور والغلاف الجوي. وإن معدل انتقال الماء عبر هذا التدخل بين سطح الورقة والغلاف الجوي يكون متناسباً مع الفرق في الضغط البخاري بين جهة الجذور المتاخمة. إن التواصل المستمر للتربة والنبات والغلاف الجوي يكون ذا أهمية كبيرة في إمداد الماء لكل أعضاء النبات والأنسجة في طريقة من التربة إلى قمم السيقان والوراق يجب أن يتغلب الماء على عدداً من المقاومات. وأن هذه المقاومات والقوى المشتركة في عملية انتقال الماء سوف توضح فيما بعد.

إن الخطوات الرئيسية الثلاث في عملية انتقال الماء يمكن تمييزها، وهي الانتقال المشدود نحو المركز (Centripetal Transport) من محلول التربة عبر نسيج قشرة الجذور نحو

أوعية الخشب للاسطوانة المركزية، والانتقال العمودي من الجذور نحو الأوراق، وتحرر الماء على شكل جزيئات غازية عند تواصل النبات والغلاف الجوي. وهذه الخطوات الثلاث أساسية موضحة بالرسم في الشكل (3.4).

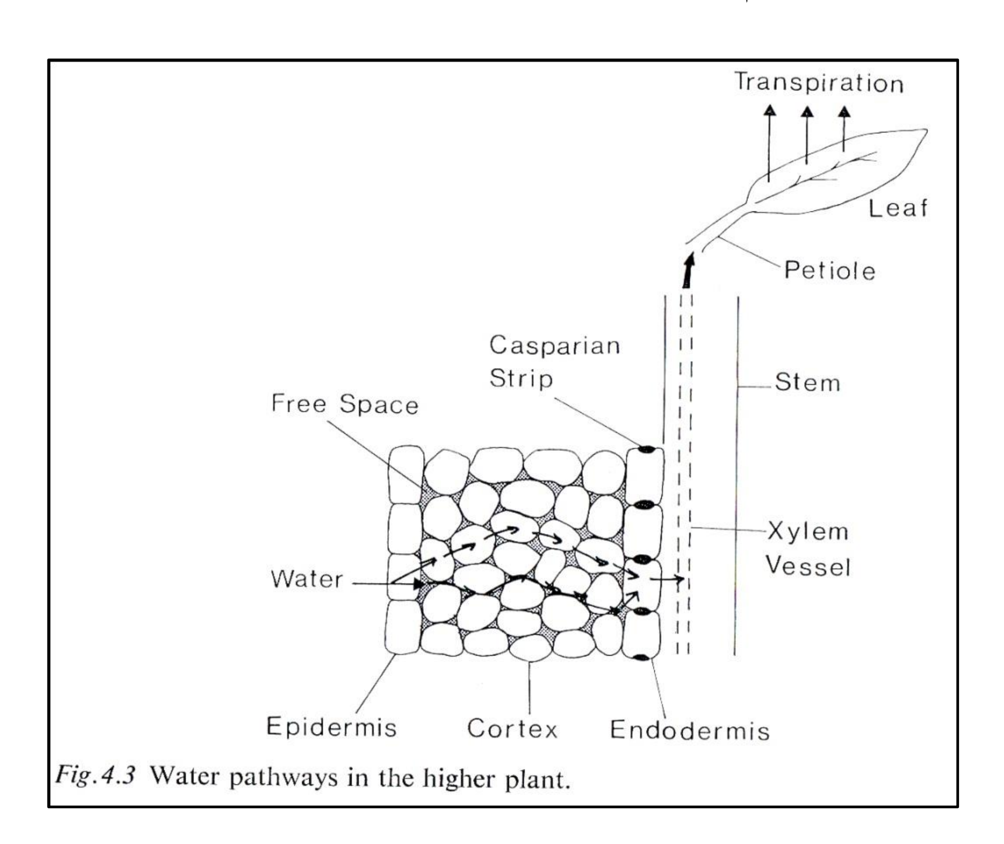


Fig.4.3 Water pathways in the higher plant.

4. 2.2. امتصاص الماء بالجذور

يبين الشكل 4.4 المخطط لأنسجة الجذر الحديث، والذي يتضمن نسيج القشرة (Cortex) والقشرة الداخلية Endodermis ولنسيج الأسطواني المركزي مع الأنسجة الوعائية للخشب وللماء. والقشرة الداخلية (الاندودرمس) التي تفصل القشرة عن الأسطوانة المركزية

(Stele). وبصفة عامة فهو يتميز بطبقة سبرزيد Suberized، وتظهر هذه الطبقة على شكل نصف قطر أو مستعرض على الجدران الخلوية التي تعرف بشريط كاسبري Casparian strip المتكون من المواد الدهنية واللجنين (Lignin) وهذه تمثل مقاومة عالية ضد انتقال الماء والمواد المذابة فيه.

في أنسجة الجذر وأيضاً في كل أنسجة النباتات الراقية الأخرى، يمكن جدار الخلية وأجزاء السيتوبلازم بالنسبة لانتقال الماء والمواد الذائبة تعرف أجزاء جدار الخلية باسم أبوبلاست apoplast ("apo تعني باللغة اليونانية بعيد" بعيد من البلازما). وهي تشمل كل أجزاء الأنسجة المعرضة للمذابات والماء بدون حاجتها إلى العبور خلال الغشاء. حيث أن الفتحات والمسافات البينية للأبوبلاست تسمح بحركة حرة للماء والمذابات ولهذا السبب يشار إلى الأبوبلاست أحياناً (بالفراغ الحر) أو بالفراغ الحر الظاهري، حيث أن هذا الجزء من جدار الخلية للأنسجة يبدو أنه حر.

إن السيتوبلازم الخلية النباتية واحدة يكونُ بصفة عامة متصل بسيتوبلازم الخلايا المجاورة بوساطة عددً من الخيوط البلازمية (البلازمودسمات). وهذا التواصل السيتوبلازمي يكون سلسلة بلازمية تسمى بالسمبلات Stmplast (Aeistf , 1956) والتي تؤخر طريقة أخرى لانتقال الماء والمذابات.

الأبوبلاست لقشرة الجذر متلامساً بإحكام مع وسط التربة، وتضرر الشعيرات الجذرية العديدة هذا التلامس (الاتصال) وبذلك يمتد ماء التربة إلى الفراغ الحر النسيج القشرة، والذي يتميز بعددٍ من الخلايا الكبيرة والمسافات البينية الداخلية، المتعددة.

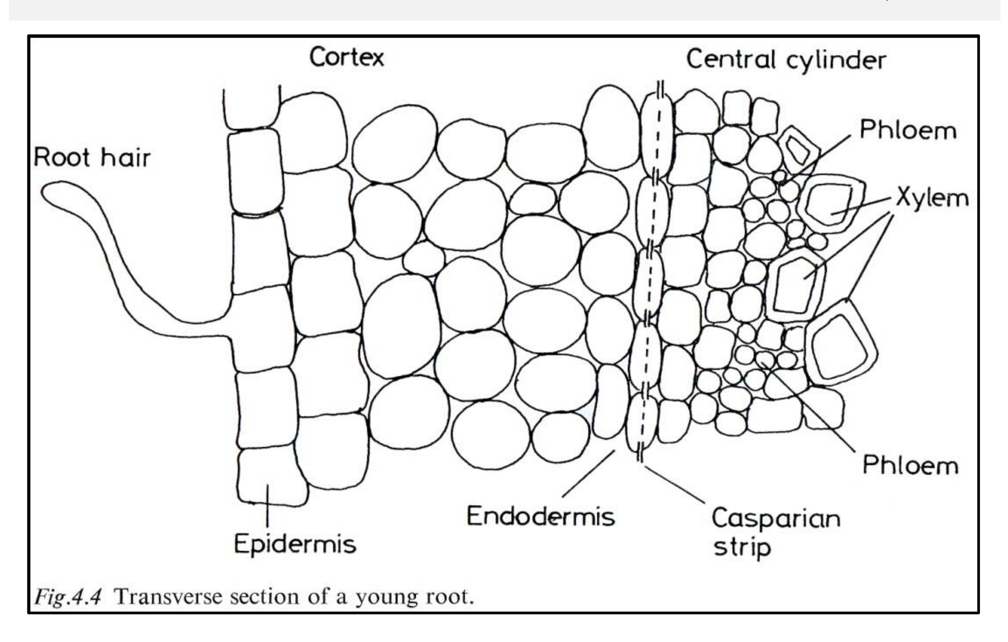


Fig.4.4 Transverse section of a young root.

يكون امتصاص الماء من وسط التربة إلى القشرة بصورة رئيسية نتيجة الخاصة الشعرية والأسموزية والقوة الشعرية مرتفعة نظراً لضيق المسامات والقنوات الموجودة في مادة جدار الخلية. وبذلك فإن بعش أنواع الحر للماء يكون مرتبطاً بقوة شديدة وله جهد مائي منخفض جداً (حوالي – 100 بار) وهذا يكون نتيجة القوى المادة (matric forces). وهذا الجهد المنخفض يعني بأن الماء يمكن أن يكون مقيداً بقوة شديدة. وهذا يدل أن ضمناً على أن الفراغ الحر لأنسجة الجدر يمثل مقاومة كبيرة التدفق الماء (New man, 1974). وبسبب ضيق المسامات لمادة جدار الخلية (معظم المسامات تكون ذات قطر < 10 نانومتر)، وربما يكون جهد المادة matric potential للجذر منخفضاً أكثر (ذو قيمة سالبه عالية) مما هو عليه في محيط التربة. ولهذا السبب يكون محتوى المائي لمادة جدار الخلية مرتفعاً 10 أضعاف

عن وسط التربة عند نفس مستوى الجهد المائي، ولهذا فإن عند الجهد المائي −1 يكون محتوى جدار الخلية تقريباً 0.1 − 0.2 جم ماء/جرام مادة جافة، بينما المحتوى المائي لتربة متوسطة القوام يكون تقريباً 0.1 − 0.2 جم ماء / جم لمادة الجافة.

يمتص الماء أو يؤخذ من الفراغ الحر إلى السيتوبلازم، ويحدث هذا الامتصاص نتيجة الأسموزية (osmosis). الأغشية الحيوية، مثل الغشاء البلازمي (البلازليما) الذي يفصل الفراغ الحر عن السيتوبلازم يكون نفاذاً لجزيئات الماء على الرغم من أنه يمثل مقاومة كبيرة ضد تدفق الماء. وهذه الأغشية تعمل فأغشية شبه منفذه وتسمح بالحركة الأسموزية للماء. ويعتمد الجهد الأسموزي في السيتوبلازم على الأيض. أن عمليات مثل الامتصاص النشط (الحيوي) للأيونات، وتكوين الأحماض العضوية، والسكريات التي تقلل من الجهد الأسموزي في الخلية. وينتج عن هذا زيادة في صافي (محصلة) امتصاص الماء. وهذا يوضح بأن امتصاص الماء يكون مرتبطاً بالعمليات الأيضية. ولهذا السبب فإن كل العوامل المؤثرة على الأيض في الجذور ربما يكون لها تأثير غير مباشر في امتصاص الماء. درجة الحرارة المنخفضة وغياب الأكسجين والمواد السامة كلها تقلل من امتصاص الماء، وذلك بتأثيرهما الضار على الأيض (Kramer , 1955) ولقد وجد (1962) Ehler أن الانخفاض كان حوالي 70 % من امتصاص الماء، وعندما عرضت نباتات الصفصفة لدرجة حرارة منخفضة حوالي 5مْ. وأن ارتباط موجباً هاماً بين امتصاص الماء و O_2 بوساطة جذور نباتات فاصوليا. (Phaseolus vulgaris) وقد وضحت في تقرير (Holder and Boowr 1980) ويجب نتذكر أن تأثير الأيض على امتصاص الماء والاحتفاظ به هو تأثير غير مباشر. حيث يولد

الأيض الجهُد الأسموزي. والمواد الذائبة الناتجة عن عمليات الأيض تقلل من الجهد المائي للخلية وبهذا ينشأ الاختلاف في الجهد المائي ما بين الخلية والوسط الخارجي مما يترتب عليه امتصاص أعلى للماء. يتحكم أيضاً تدفق الماء بين السيتوبلازم والفجوة العصارية للخلية وبالاختلاف في الجهد المائي ($\triangle\psi$) بين هذه التقسيمات السيتوبلازم وفجوة الخلية). بما أن الغشاء الداخلي (التونوبلاست) يعمل كغشاء شبه منفذ، فإن القوى الأسموزية تكون أيضاً مسؤولة بشكل رئيس عن صافي (محصول) حركة الماء بين السيتوبلازم والفجوة العصارية.

يعرف تدفق الماء من وسط التربة إلى الأسطوانة المركزية، بانتقال الماء المندفع نحو المركز، والذي ربما يأخذ مسارات مختلفة كما هو موضح في الشكل 5.4 والركن العلوي لشكل (5.4.أ) يبين جذر نبات فيه خلايا الاندودرمية endodermis مازالت بدون أشرطة كاسبري (unsuberized). وغياب أشرطة كاسبري هذه تسمح بحدوث حركة الماء من محلول التربة إلى أنسجة الأوعية، إما في الأبوبلاست أو في السمبلات.

الشكل 4.5 ب يبين مسارات انتقال الماء لجذر في مراحل نمو أكثر تقدماً، حيث تطور الأندودرمس (القشرة الداخلية)، وحيث يكون شريط كاسبر جيد التطور بالأندودرمس، وتمثل طبقة سيبرزيد Suberized لجذر الخلية للاندودرمس حاجزاً لحركة الماء والمذابات (المواد الذائبة)، ولهذا السبب يحول دون استمرار تدفق الماء عبر الأندودرمس (القشرة الداخلية) إلى الأسطوانة الداخلية يتبع في كثير من الأحيان مسار السمبلات كما هو المبين في الشكل 4.5.ب.

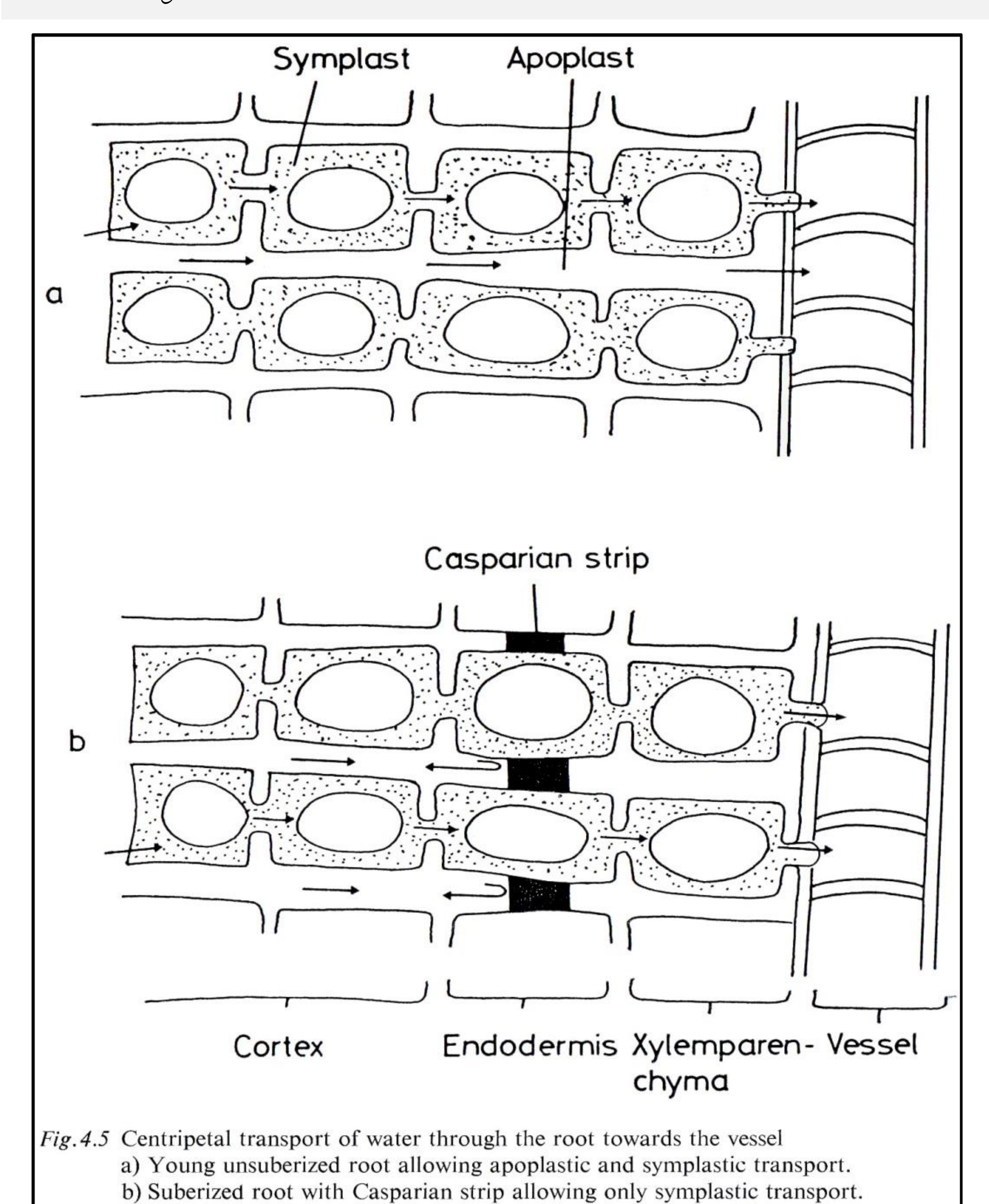


Fig.4.5 Centripetal transport of water through the root towards the vessel
a) Young unsuberized root allowing apoplastic and symplastic transport.
b) Suberized root with Casparian strip allowing only symplastic transport.

وبما أن جدران خلايا القشرة الداخلية غنية بالخيوط البلازمية (بالبلازمودسمات

Plasmodesmata) فإنه يبدو أن الماء والمذابات (المواد الذائبة) تنتقل بين نسيج القشرة والسطوانة المركزية بصورة رئيسية عبر هذه الخيوط البلازمية (Clarkson et al. 1971) وقام كذلك New man 1974 بمناقشة شاملة لمسارات الماء عبر الحدود واستنتج أن السمبلات هو من أهم مسار لانتقال الماء المندفع نحو المركز يبدو أن مسار الابوبلاست يلعب دوراً رئيسياً فقط في الجذور الحديثة جداً التي لم تكون شريط كاسبري. وهذه الطريقة مهمة خصوصاً في امتصاص وانتقال Ca^{2+} (أنظر 2.11).

إن البشرة والقشرة الداخلية والأسطوانية المركزية كلها تمثل مقاومة كبيرة لانتقال الماء من وسط التربة إلى داخل الخشب. وهذه الحقيقة مهمة للنبات ذات الاستهلاك المائي العالي التي تنمو في التربة الجافة. والجهد المائي للتربة حوالي –3 بار للتربة. وتحت مثل هذه الظروف فإن الجهد المائي للجذر يمكن أن يصبح بدرجة أكثر انخفاضاً عن الجهد المائي للتربة. ومقاومة الجذور العالية لانتقال الماء المندفع نحو المركز تكون السبب في انكماش وانتفاخ الجذور في فترة النهار، وتحت ظروف النتح العالية عند فترة الظهر فإن معدل انتقال الماء خارج الجذور إلى أجزاء النبات العليا يزيد عن معدل الماء الممتص من التربة، ويحدث انكماش الجذر. وتحدث عملية عكسية بانخفاض النتح أثناء فترة الظهر المتأخرة والمساء، عندما يُستكمل النقص إلى حل في الماء يحدث انتفاخ (امتلاء) الجذور (Talyor and tipper, 1978) أن الجهد المائي للتربة يتوضح بالجهد المائي للنبات. والعلاقة في الجدول 2.4 توضح الجهد المائي للورقة فول الصويا

.(Adiei – Twvn and Splittsto, 1976)

Table 4.2 Relationship between soil water potential and the water potential of soya bean leaves

Soil water potential, bar	Leaf water potential, bar
0 to –0.1	– 2
0 to –0.2	– 4
0 to –0.4	–12
0 to –1.0	–19

3.2.4 انطلاق الماء إلى داخل أوعية الخشب

إن الآلية التي يتحرر بها الماء إلى داخل أوعية الخشب غير مفهومة بصورة كاملة حتى الآن. ولقد أصبح الآن مقبولاً أن التحكم في هذا يكون بوساطة الأسموزية، ولهذا السبب فهي مرتبطة بإحكام بانتقال الأيونات.

والسؤال الذي يطرح هنا هو هل تفرز الأيونات العضوية حيوياً أو تشربها إلى أوعية الخشب يكون غير حيوي، وهذا لا يزال غير واضح حتى الآن. ولقد درس (Cläuchli, 1972) هذه المسألة بالتفصيل، وقد أفترض أن خلايا الخشب البرنشيمة (البرنشيمة الشعاعية) تلعب دوراً حاسماً في فرز الأيونات غير العضوية (المعدنية) إلى أوعية الخشب. والصورة 1.4 تبين الخلايا ما وراء الخشب metaxylem والخلايا البرنشيمة التي تحدها. توجد ندبه أو نقرة واضحة في الجدر الخلوي السميك للأوعية ما بعد الخشب، وعند هذه ينفصل الخشب عن الخلايا البرنشيمة بوساطة الغشاء البلازمي (البلازمالما). ويعتقد أن فرز الأيونات من خلايا البرنشيمة إلى داخل أوعية الخشب يكون خلال هذه النقرات Pits. وهذه هي الحالة بالنسبة للبوتاسيوم K^+ الذي يتراكم في خلايا البرنشيمة كما شوهدت من

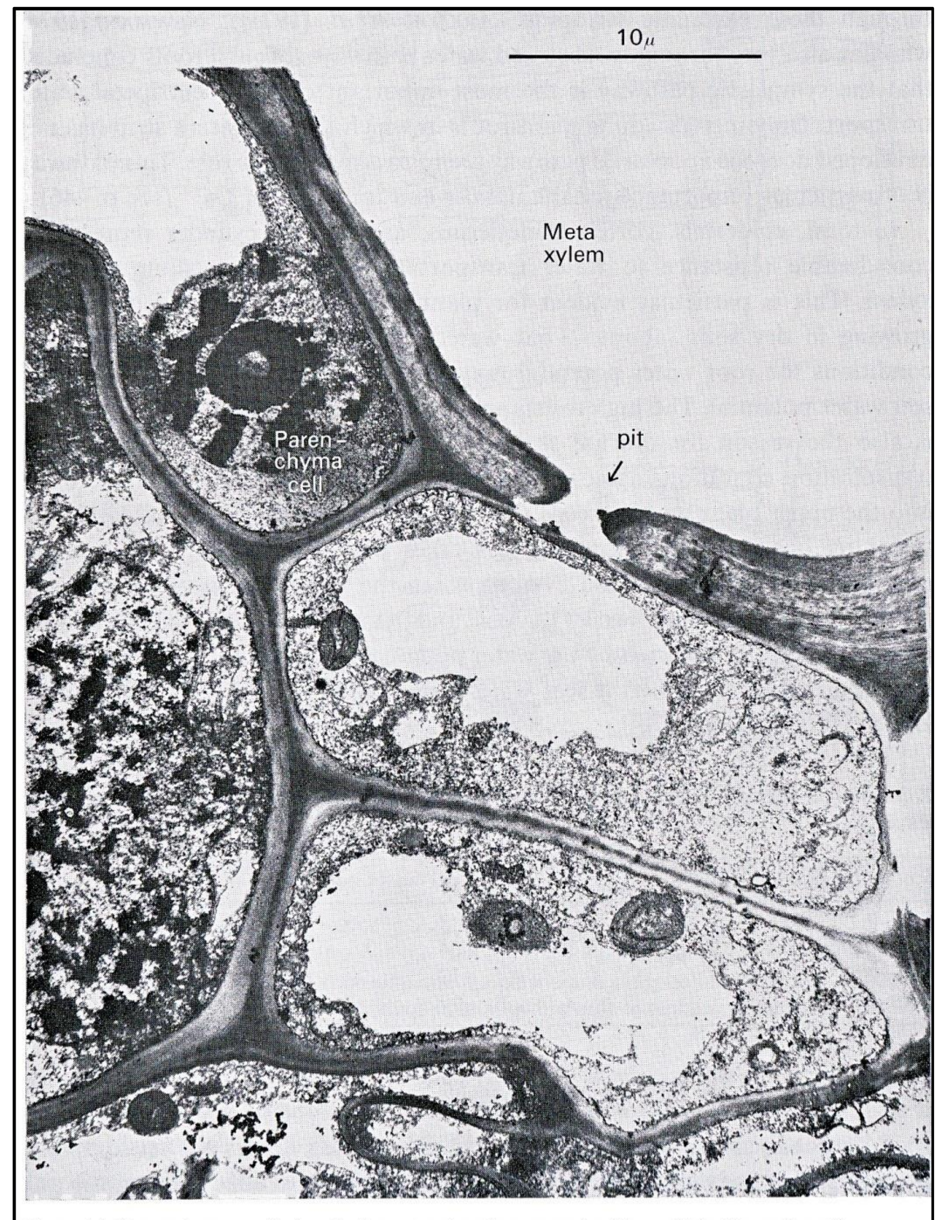


Plate 4.1 Parenchyma cells bordering a metaxylem vessel with a pit in the cell wall. (Photo: KRAMER)

قبل Läuchi et al 1971 باستعمال مسبار (مجبس) تحليل إلكتروني electron prob analysis. حيث يبدو أن أوعية ما بعد الخشب الخارجية هي من أهم عناصر الخشب في عملية الانتقال نحو الأعلى اتجاه قمة النبات العليا (المجموع الخضري Shoot). ويسبب فرز الأيونات إلى داخل الأوعية انخفاض في الجهد المائي في الأوعية، التي تحفز صافي محصلة تدفق الماء إلى الخشب.

بصورة مغايرة (عكسية) للخلايا الاعتيادية، حيث يكون حجم الخلية عاملاً محدداً لامتصاص الماء، ولا تظهر أوعية الخشب أية إعاقة كبيرة، حيث أن الماء الممتص يمكن أن يتحرك في الاتجاه الأعلى. ولهذا السبب فعندما يزداد امتصاص الماء فإن الضغط الهيدروستاتكي (ψ_P) في الأوعية لا يرتفع إلى المدى الذي يحصل في حالة الخلايا الحية. وبهذا فبالمقارنة فإن الماء يمتص بصورة أسهل بوساطة الأوعية الخشبية نتيجة للامتصاص الأيوني.

4.2.4 ضغط الجذر

إن الآلية التي شرحت في الفقرة السابقة أعلاه هي مسؤولة عن الظاهرة التي تسمى بالضغط الجذري. وهذه يمكن توضيحها بوساطة مشاهدة تجمّع العصارة الخلوية المفرزة على الجزء المتبقي من النباتات المتطوعة. ويعتمد معدّل الإفراز (النضج) بشكل كبير على الظروف الأيضية السائدة، حيث ينخفض معدّل الإفراز (النضج) بتأثيرات مثبطات النمو أو نواتج التنفس اللاهوائي (anauobiosis) التي تهبط أيضاً الامتصاص الأيوني (Kramer ,1955, Vaadia et al 1961). ويتأثر معدل الإفراز (النضج) أيضاً بوجود أنواع أيونات خاصة وبتركيزها في المحاليل المغذية. وقد وجد الباحثان Menqel and Flüqer أن

المعّدلات الأعلى للإفراز عندما كان Kcl موجوداً في المحاليل الخارجية، ويرجع هذا إلى حقيقة إن امتصاص كل من الـ K^+ والكلوريد يكون بسرعة. وقد لوحظت المعدّلات الأقل للإفراز (النضج) عندما كان المحلول الخارجي هو الماء النقي. وقد وضح كل من (Baker and Weatherly , 1969) التأثير التحفيزي (التشجيعي) للبوتاسيوم K^+ في امتصاص الماء وانتقاله في إفراز المجموع الجذري لنبات Ricinus Communis وتتفق هذه الملاحظات بشكل جيد مع نتائج (Läucttli et al 1971) التي شرحت سابقاً.

إن أهمية الضغط الجذري من الصعب تقييمها، وبدون شك فإن الضغط الجذري في النباتات الحديثة يساهم في انتقال المواد العضوية والمواد غير العضوية (المعدنية) الذائبة نحو الأعلى، وخاصة تحت الظروف التي يكون فيها النتح منخفضاً. (Locher and Brouwer, 1954). ومن ناحية أخرى يكون الضغط الجذري ضعيفاً ليقوم بنقل الماء خلال أوعية الخشب إلى أجزاء النبات العليا.

والضغط الجذري في البادرات قد يسبب في أغلب الأحيان الإدماع (ظاهرة التدمع) Guttation. حيث يصبح الماء من خلال النبات ككل ويتحرر على هيئة قطرات عند قمم الأوراق، والإدماع دلالة للتحول الغذائي المكثف لجذر والضغط الجذري العالي، وتلاحظ هذه الظاهرة أحياناً في الصباح الباكر كنتيجة جزئية لقلة انخفاض الماء في الغلاف الجوي أثناء الليل، والذي يعيق التبخر، وتحتوي القطرات على المذابات (المواد الذائبة) كما قرر Oertli, 1962 أن النباتات الحديثة تفرز البورون بهذه الوسيلة. ولكن بصيغة عامة فإن للإدماع أهمية قليلة في النباتات المتقدمة في العمر باستثناء عدد من أشجار غابات المناطق

الاستوائية المطيرة التي تدمع باستمرار.

5.2.4 النتح وحركة الماء في الخشب

إن الضغط الجذري والقوى الشعرية هما ضعيفان كثيراً لكن يلعبان دوراً رئيساً في نقل الماء في الخشب إلى الأعلى، وعلى سبيل المثال قد يرتفع الماء في الشجار إلى ارتفاع يقرب من 100م (متراً). ولفهم هذه الحركة يجب أن تأخذ في الاعتبار الأوجه العديدة لماء النبات. وفي المقام الأول طور الماء المتصل المستمر، والذي يسمى تواصل التربة بالنبات والغلاف الجوي (Soil plant atmosphere continuum)، والذي يمتد من محلول التربة ومن خلال النبات ككل (أنظر الشكل 3.4) وفي هذا الطور المتداخل ترتبط جزيئات الماء بقوى التماسك Cohesive. وفي الحدود التي بين الورقة والغلاف الجوي، يوجد الماء في القنوات الدقيقة وفي المسافات البينية لجدار الخلية، وفي فجوات الثغور (انظر الشكل 6.4). وعندما يحصل تبخر إلى الغلاف الجوي، فإن النشاط الشعري وخصائص تماسك الماء تضمن تدفق الماء خلال النباتات بالتعويض الماء الذي فقد، وهذا يعني أنه عندما يتبخر الماء عند سطح الورقة فإن الماء يتحرك إلى داخل الجذر من التربة وهذا المفهوم لحركة الماء تسمى بفرضية التماسك.

أن المعدل الذي تبخر عنده جزيئات الماء من الغلاف الجوي المحيط بحدود النبات يزداد بزيادة درجة الحرارة، حيث يكون ارتفاعاً عندما يكون الجهد المائي للغلاف الجوي منخفضاً (نقص أكثر لماء الغلاف الجوي).

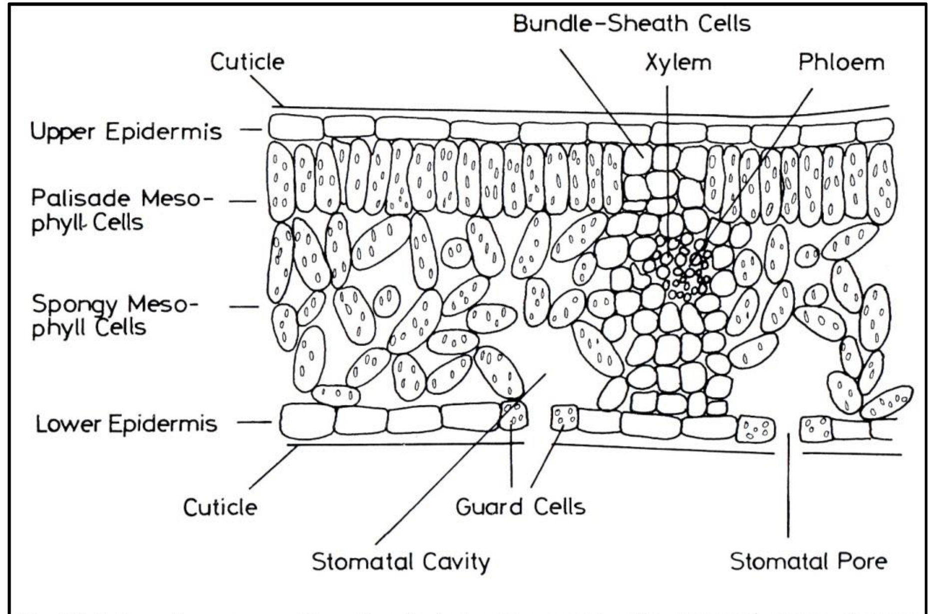


Fig.4.6 Schematic cross section of a leaf showing guard cells, stomatal pores, stomata cavity, bundle-sheath cells, xylem and phloem.

وتعرف عملية التبخر والموضحة أعلاه بالنتح، وهي عملية شد بحدة أو عملية شفط في أعمدة الماء في الخشب، وهذا الشد يكون أعلى تحت ظروف النتح السريع أو عند قلة إتاحة (توفر) الماء في الوسط الجذري. ونسيج الخشب يكون معداً جيداً لهذا الغرض (قص أو شفط الماء) أو بشكل أدق فهو معد لغرض لتناقص في الضغط الهيدروستاتيكي للعمود المائي. أن عناصر جدران خلايا الخشب تكون صلبة بما فيه الكفاية لمنع أي ضغط أكبر على أوعية الخشب بوساطة الخلايا المجاورة، وإذا لم يكن هذا موجوداً وأن الضغط الهيدروستاتيكي لماء الخشب سوف يهبط أيضاً مما ينتج عنه حصول كسر أضبارة الماء وسد مجرى النتح بوساطة الفقاعات الهوائية. وانخفاض الضغط الهيدروستاتيكي في الخشب يحفز

حدوث انكماش صغير ولكن مؤثر في السيقان. ولكن يمكن ملاحظته في الجذع الشجري يكون هناك اختلاف يومي غالباً في محيط دائرة الجذع، كان أقصاه في الصباح الباكر، وعندما يكون النقص في الماء عند الحد الأدنى (Anti 1973). فإن محيط دائرة الجذع يعتمد أيضاً على تيسر الماء في محيط غلاف الجذري، حيث الانخفاض يكون كثيراً في محيط دائرة الجذع Taunt عند شد المائي لماء التربة مرتفعاً، (Anti 1973).

أن مقاومة تدفق الماء على طول الأوعية الخشبية تكون قليلة نسبياً، ولهذا السبب فإن تدفق الماء يكون بصورة رئيسية عبر الأوعية الخشبية ويتبع هذا التدفق العروق الرئيسية والثانوية لنظم الوعائية الخشبية. ومع ذلك فإن جدران خلايا الخشب تكون منفذه لجزيئات الماء، حيث يتسرب بعض الماء إلى جدران الخلايا الخشبية والمسافات البينية للأنسجة المجاورة، ويمكن أن يحدث امتصاص الماء عن طريق الأنسجة المجاورة بوساطة (الأسموزية). أن مقاومة تدفق الماء في جدران أوعية الخشب تكون أعلى بكثير من مقاومة أوعية الخشب تكون أعلى بكثير مكن مقاومة أوعية الخشب نفسها (New man,1974). لذا فإن الحركة الجانبية للماء في أنسجة النبات تكون بالمعدل أكثر انخفاضاً من معدل انتقال الماء نحو الأعلى.

إن النباتات الراقية تعرض مساحة سطحية ورقية كبيرة للغلاف الجوي وهذه ضرورية لاستقبال وتمثيل CO_2، ومن ناحية أخرى هذا يعني أن معدل فقد الماء بوساطة النتح يكون مرتفعاً. ولهذا فإن الكثير من النباتات الراقية تستهلك كميات كبيرة من الماء، وعلى سبيل المثال فإنه نبات الذرة الناضجة يحتوي على ثلاث (3) لترات من الماء، على الرغم من أنه قد

نتح أثناء فترة النمو أكثر من 100 ضعف هذه الكمية.

وقد وضح (Holder and Brown 1980) حديثاً أن فقد الماء بوساطة النتح يعتمد بشكل كبير على أيض الجذور وبمعدل أقل على مساحة الورقة. وباستخدام نبات الفاصوليا ككل (Phaseolus vulgaris) وجد الباحثان ارتباط جيد (r = 0.89) بين امتصاص الأكسجين بوساطة الجذور وامتصاص الماء، وبقياس معدلات النتح في مراحل متعاقبة للتوريق، فقد لوحظ أيضاً بأنه كلما أزيلت الأوراق فإن معدل النتح زاد لكل وحدة مساحة للأوراق الباقية. وهذا يدل أن النباتات المزودة جيداً بالأكسجين، فغن الامتصاص بالجذور الذي يتحكم في تدفق الماء وليست المساحة الورقية.

6.2.4 فتح وغلق الثغور

أكبر كمية من ماء النتح في المحاصيل تنطلق عن طريق الثغور، وفي الشكل 6.4 يبين مقطع للميزوفيل (النسيج الأوسط) للورقة بمسامات الثغور المفتوحة. وتقع الثغور بشكل رئيسي على الجوانب السفلى للأوراق، وتمكن من التبادل الغازي بين الورقة والغلاف الجوي، حيث نلاحظ أن المسامات الهوائية البينية الداخلية تكون موزعة بين الخلايا البرنشيمية للنسيج الوسطي، وتمثل المسامات المسار الرئيسي لنتح الماء، لأن طبقة البشرة العليا والسفلى للورقة تكون مغطاة بطبقة من الشمع، وتسمى بالكيوتكل. وتحتوي هذه على مواد دهنية تمثل حاجزاً لنتح جزيئات الماء. لذا فإن 90 % من الماء المفقود في عملية النتح يمر خلال الثغور لمعظم المحاصيل. ولهذا فإن عملية قفل وفتح الثغور هي عملية مهمة، ليس لفقط لتمثيل ثاني أكسيد الكربون بل أيضاً للتوازن المائي في النبات.

لقد كان معروفاً لوقت طويل أن عملية فتح وغلق الثغور تعتمد على تغير الضغط الانتفاخي في الخلايا الحارسة، حيث أن الانتفاخ (الامتلاء) العالي يؤدي إلى فتحها والانتفاخ المنخفض يؤدي إلى غلق الثغور. ونتائج التجارب التي تحصل عليها كل من Fischer and Hsiao 1968 , Fischer , 1968 بينت أن انتفاخ الخلايا الحارسة مرتبط بالامتصاص الأيوني المعتمد على عملية الأيض وخاصةً امتصاص البوتاسيوم (Humble and Hsiao, 1969) وقد ذكر Fischer, 1968 بأنه مع زيادة تركيز البوتاسيوم المشع K^+ في الخلايا الحارسة فإن انتفاخ الثغور لنبات الفول (Vicia Faba) أصبح أكثر اتساعاً وقد دعمت هذه النتيجة باستعمال مسار التحليل الكهربائي Electro probeanalysis، من قبل (Humble and Rascke, 1970) حيث لوحظ تراكم البوتاسيوم K^+ في الخلايا الحارسة للثغور المفتوحة. بينما لم يلاحظ تراكم للبوتاسيوم K^+ في الثغور المغلقة (أنظر الشكل 4.10). وبذلك فإن آلية فتح وغلق الثغور تعتمد بصورة أولية على تراكمK^+ في الخلايا الحارسة وليس على عملية تحول النشاء إلى سكر كما كان يعتقد سابقاً، وطبقاً لما جاء به Fischer and Hsiao 1998 فإن تفاعل النشا/السكر هو تفاعل ثانوي، ولذا ذا أهمية بسيطة.

إن الميكانيكية الفعلية لفتح وقفل الثغور لازالت غير واضح حتى الآن، وجد Penny and Rowling 1974 في دراستهما على تركيزK^+ في الخلايا الحارسة لنبات Commelina Communis وجد أن فتح الثغور يكون مرتبطاً بزيادة K^+ في الخلايا الحارسة إلى حوالي 35 ملمول تقريباً. إن البوتاسيوم K^+ المطلوب لهذا التراكم في الخلايا يزود جزيئات من قبل الفجوات العصارية للخلايا الخارجية Subsidiarl، وجزئياً بالخلايا البشرة. وانتقال

K^+ يقفل الثغور، حيث تراكم K^+ في خلايا البشرة. ولا يوجد اختلاف كبير في الجهد الكهربائي بين أية خلية لبشرة الورقة بغض النظر عن حالة الثغور. أقترح الباحثان أن عملية انتقال K هي عملية حيوية، وعملية فتح وغلق الثغور تحتاج إلى طاقة الأيضية. وأن معدلات تدفق K^+ تحتاج إلى حوالي50— 100 ضعف عن المعدلات الاعتيادية للتدفق عبر الأغشية (Trans membrane) إلى داخل خلايا النبات. ولهذا السبب طرح كل من Penny and Bowlig , 1974 سؤالاً. هل مثل هذا التدفق يحدث عبر اتصال البلاسومات Plasmodesmatal أكثر من عبر الأغشية الخلوية.

إن ارتفاع في درجة الحرارة يمكن أن تسبب غلق الثغور. ويحتمل أن هذا من عملية التنفس المحسن والمستويات المتزايدة من CO_2 في فجوات الثغور. درجة الحرارة العالية تكون غالباً مرتبطة باستهلاك مرتفع الماء. لذا فإن غلق الثغور يحمي النبات من زيادة فقدان الماء. وأن آلية الفتح والغلق هذه وفر وسيلة عالية الكفاءة في عملية تنظيم توازن المائي في النبات ككل. وطبقاً لأبحاث Stocke, 1967 فإن الأعشاب تكون ذات حساسية عالية في تنظيم أكبر الثغور. وبما أن البوتاسيوم K^+ يلعب دراً سائداً في فتح الثغور، فإن حالة تغذية K^+ للنبات تؤثر على فقد الماء بوساطة عملية النتح. وقد لاحظ Zech et al 1971 تحفيزاً في معدلات النتح في نبات الصنوبر (Pinus silverstris) الذي يعاني من نقصان في الـ K^+ وأن التأثير الإيجابي للبوتاسيوم K^+ في منع فقد الماء قد أوضحه Brag 1972 لكل من نبات Pisum sativam ونبات Triticum aestivum. والهرمونات النباتية تؤثر أيضاً في آلية غلق وفتح الثغور. وبصيغة عامة فإن السيتوكين Cyto kinins يؤدي إلى فتح الثغور، بينما

حامض أبسيك Abscisic acid له تأثيراً معاكساً (mizeahi et al 1970).

3.4 الانتقال لمسافات طويلة

1.3.4 نظرة عامة

من الضروري جداً أن يكون للنباتات الراقية وسائل ملائمة لنقل المواد بين مواقع الإنتاج ومواقع الاستهلاك، حيث يلعب الماء دوراً سائداً في عملية الانتقال هذه. وأهم مسارات الانتقال لمسافات طويلة هي الأنسجة الوعائية للخشب والماء. والمواد الرئيسية التي تنتقل هي الماء والأيونات غير العضوية والمركبات العضوية. ويمتص الماء والمعادن من الوسط المتاخم للجذر (الغلاف الجوي)، وتنتقل باتجاه أجزاء العليا (المجموع الخضري) بوساطة الخشب. وتنتقل المركبات العضوية بصورة رئيسية في الماء حيث يتم انتقالها في كل الاتجاهين إلى أعلى وإلى أسفل.

2.3.4 الانتقال بالخشب

ولقد تناولنا بشيء من التفصيل حركة الماء في الخشب (انظر 5.2.4) وفي هذا الفصل سوف نأخذ حركة الماء باعتبارها عاملاً مؤثراً في حركة العناصر الغذائية (المغذيات).

إن المعدل العالي نسبياً لتدفق الماء نحو الأعلى خلال أوعية الخشب يسبب الانتقال السريع للمواد الذائبة (المذابات) في الخشب فإنها تنتقل بسرعة إلى أجزاء النبات العليا. وقد وضح هذا التأثير بوساطة (1960) Rinne and longston في التجربة التي تم فيها تغذية جزء واحد من المجموع الجذري لنبات النعناع بالفسفور المعلّم (النظير المشع للفسفور P-32). ولقد وجد هذا الفوسفور المشع (المعلَّم) في أجزاء النبات العليا بعد فترة زمنية قصيرة، ولكن

في أجزاء التي زودت مباشرة بوساطة أوعية الخشب من ذلك الجزء من المجموع الجذري الذي استقبل الفوسفور المعلم (المرقم). قد وضح هذا في الشكل 7.4 حيث تظهر الأجزاء المظللة للأوراق تراكم الفوسفور المعلم (الرقم) ومسار توزيع الفوسفور المرقم 32 – P الملاحظ في الأوراق يكون مثالياً لهذا النوع من التجارب، وأيضاً توضح أن الأيونات العضوية قد تتوزع بشكل رئيسي على طول نظام أوعية الخشب وتجرى من هذه الأوعية إلى خلايا المجاورة.

إن ميكانيكية انتقال المذابات (المواد الذائبة) في عصارة الخشب بصورة رئيسية بوساطة التدفق الكتلي، حيث أن الكاتيونات وخاصة الكاتيونات الثنائية يمكن أن تدمص على أسطح جدار الخلية وتتبادل مع الكاتيونات الأخرى (Biddulph et al 1961, Isermann, 1970) وعصارة الخشب هي محلول مخفف إلى حد ما والذي يتكون بنسبة كبيرة من الأيونات غير العضوية. وجدول 43. يبين معّدل الرشح (النضج) وتركيب عصارة الخشب لنبات طماطم وعلاقته بمستوى التغذية بالبوتاسيوم K^+ (Kirkby et al 1981). والأيونات التي توجد بأعلى تركيزات هي K^+ و NO_3^-و Ca_2^+. وإن مستوى Ca_2^+ ربما كان مرتفع أيضاً (10 مللي مكافئ / لتر). ويجب أن نوضح أن مستوى التغذية بالبوتاسيوم K^+ له تأثير بسيط نسبياً على التركيز الأيوني في العصارة. وزيادة مستويات K في الوسط المغذي زاد حجم العصارة المفرزة بشكل واضح، وبهذا يشجع امتصاص الأيونات. وتركيز الأيونات غير العضوية المنفرد يعتمد على معدلات امتصاصها وعلى تركيزها في المحلول المغذي وعلى امتصاص الماء وأيضاً على شدة النتح في الخشب.

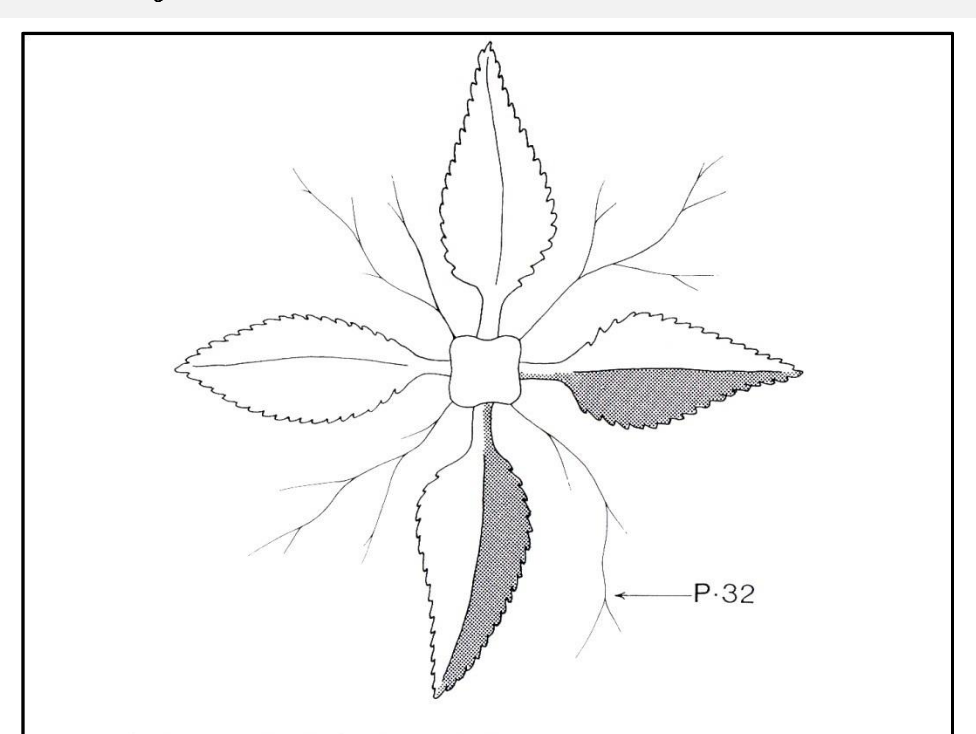


Fig.4.7 Distribution of labelled P in the leaves of a peppermint plant. P-32 was supplied to only one part of the root system (after RINNE and LANGSTON [1960]).

النتروجين يمكن أن ينتقل على صورة NO_3^- و NH_4^+ وكأحماض أمينية في الخشب، ونسبة النتروجين العضوي يعتمد كثيراً على جهد إنزيم اختزال النترات (نترات ريدكتيز nitrate reductase) في الجذور، وبصفة عامة يكون الأنزيم مرتفعاً في أنواع نباتات الأشجار، ومنخفضاً في أنواع النباتات العشبية. إن أنواع الأحماض الأمينية الرئيسية التي وجدت في عصارة الخشب هي الجلوتامين (Glutamine) والأسبراجين Asparagine وبوادر الجلوتاميت Glutamate والأسبرتات aspartate (Pate, 1980) وفي بعض أنواع النباتات مثل البقوليات الاستوائية فإن Ureids (allantion and allantoic acid) هي أهم صور

لنتروجين في عصارة الخشب. والأحماض الأمينية القاعدية مثل الأرجينين arginine تمتص بسرعة بوساطة الأنسجة الماصة بالخشب، ويمتص الأسبراجين Asparagin والجلوتامين glutamine بوساطة السيقان بمعدل متوسط، بينما الأسبرتات aspartate والجلوتاميت فهي تستعمل هنا في تصنيع البروتينات أو تنتقل إلى اللحاء (Phloem) وبعد ذلك تبعث خارج الورقة.

Table 4.3 The rate of exudation and inorganic ion composition of xylem sap of decapitated tomato plants in relation to the level of K-nutrition (Exudates taken in the first hour after decapitation – sulphate varied in nutrient solution) (Kirkby *et al.* 1981)

Nutrient level of K	Vol. of exudate ml/hr/10 plants	Ionic composition (me/l)									
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Total	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	Cl^-	Total
		Cations					Anions				
K_1	46.5	17.3	0.3	10.8	3.9	32.3	26.1	3.1	0.4	1.7	31.3
K_2	50.6	21.7	0.2	10.6	4.0	36.5	30.8	3.5	0.4	1.3	36.0
K_3	55.9	21.4	0.2	11.8	4.2	37.6	31.6	3.0	0.5	1.1	36.2

الأحماض الأمينية الممتصة من نسيج الساق تستعمل بشكل رئيسي في التخزين. ومستوى الأحماض الأمينية في عصارة الخشب تعتمد أيضاً على العمر الفسيولوجي. ويكون في الغالب مرتفعاً في فصل الربيع، حيث تحريك البروتينات المخزونة في الجذوع والسيقان لتكوين الأوراق الحديثة. (Souter, 1976).

بعض المغذيات غير العضوية يمكن أن تمتص بسرعة من الخلايا المجاورة لأوعية الخشب، وبذلك فإن تركيزها ينخفض كلما انتقلت على طول الأوعية الخشب، ويكون هذا صحيحاً لمعظم المغذيات النباتية الرئيسة مثل NO_3 و H_2PO_4 و K^+. من جهد أخرى تمتص

المغذيات الأخرى بصورة بطيئة من عصارة الخشب بوساطة الخلايا المجاورة ؛ وبذلك تنتقل إلى القمم العليا للنبات وحواف الأوراق وفي بعض الحالات يمكن أن تسبب احتراق القمم.

ويحصل الانتقال لمسافات بعيدة في كل من أجزاء النبات العليا وفي الجذور، في كلتا الحالتين فإن معدل الانتقال يتأثر بالمقاومة المحورية (العمودية) التي تختلف باختلاف نوع النبات أو أعضاء النبات. وبسبب هذه المقاومة فإن الجهد المائي لأجزاء النبات العليا (الأوراق والسيقان) يكون منخفضاً عن التي في جذور النبات. حيث أكد كل من Taylor and Kapper , 1978 أن مقاومة الماء التي تكون أكثر كلما كانت طبقة التربة التي تمتص الجور منها الماء أعمق. ولهذا السبب يحدث استنزاف من طبقات التربة العليا أولاً قبل طبقات التربة العميقة. وأنواع النباتات التي لها القدرة على امتصاص الماء من طبقات التربة العميقة يعتقد أن لها مقاومة جذرية (عمودية) منخفضة للماء.

إن معدّل الانتقال نحو الأعلى يعتمد بشكل رئيسي على شدة النتح وعلى امتصاص الماء بالجذور. وهذه الحالة ليست صحيحة فقط لانتقال الماء بل هي أيضاً صحيحة في دراستها لنباتات الذرة الصغيرة. إذا أنخفض معّدل النتح ينتج عنه تدني في انتقال الفوسفور من الجذور إلى أجزاء النبات العليا. وقد بين Michael et al, 1969 أن نبات التبغ النامي تحت معدّلات النتح شديدة الانخفاض في حاضنة النمو سبب حدوث نقص في البورون B في الأوراق الحديثة، وذلك سبب المعدّل المنخفض لانتقال B في مجرى النتح. ولا تعتمد كل المغذيات النباتية على النتح في انتقالها نحو الاتجاه العلوي. حيث إن بعض المغذيات النباتية تنتقل أيضاً في عصارة الماء. ومثل هذا النوع من الانتقال قد تناوله بشكل

أكثر تفصيلاً في 5.3.4.

أنّ حركة الماء في النبات، وبخاصةً في الخشب يمكن أن تؤثر بشكل كبير في انتقال المغذيات النباتية، ويجب نتذكر أن امتصاص الماء وامتصاص الأيونات هما عمليتان منفصلتان، وأن للامتصاص المعدل المرتفع للامتصاص الأيوني لا يكون بالضرورة مرتفعاً بمعدل عالٍ لامتصاص الأيونات، ويبين Hanson and Bonner 1954 في دراسته لدرانات الخرشوف artichoke tubes أن خفض معدل امتصاص الماء بوساطة الجهد المائي المنخفض في المحلول الخارجي، لم يكون له تأثير على امتصاص لـ Rb^{+}. تحت الظروف التي عندها يجب أن يمر الماء خلال الغشاء الحيوي، فإن الامتصاص الأيوني يفوق الامتصاص المائي، كما يمكن انتقال الماء أسموزياً أنظر (3.2.4). وعندما لا يعترض حركة الماء أي شيء كما هو الحال في مجرى النتح، فإن المغذيات النباتية يمكن أن تنتقل مع الماء بوساطة التدفق الكتلي.

3.3.4 نسيج وحشو (تجمع) اللحاء

نسيج اللحاء يحتوي على مسارات التي تنقل المواد العضوية وهذا النسيج يمتد موازياً لضفيرة الخشب. وتحتوي أنسجة اللحاء على الخلايا الغربالية (العناصر الغربالية) والخلايا المصاحبة والخلايا البرنشيمية وتكون الأنابيب الغربالية أو العناصر الغربالية هي الأهم وتحتوي هذه الخلايا الطويلة على مسامات غربالية مشابه للصفائح الغربالية عند نهايتها، والتي تفصل الخلايا بعضها عن البعض الأخر. وفي أعضاء النبات العليا تكون العناصر الغربالية موجودة في القشرة وفي الأعناق (Petioles) وفي نظام التعرق الرئيسي للأوراق. أما الجذور فأنها

تحتوي على العناصر الغربالية في الأسطوانة المركزية. وأن العنصر الغربالي هو خلية مرنة طويلة عالية التخصص، وتحتوي على طبقة رقيقة من السيتوبلازم مضغوطة إلى جدار الخلية والأنوية الخلوية والميتاكوندريا تكون متمسخة.

وبصفة عامة أصبح الآن مقبولاً أن المسامات والفتحات في الصفيحة الغربالية تكون مفتوحة أثناء النشاط الأيضي. لهذا فقد بين Fisher, 1975 أن حوالي 70% من مسامات الصفيحة الغربالية من النسيج عنق نبات لورقة لنبات فول الصويا تكون غير مسدودة. والشكل 7.4 يعطي مثالاً لهذه الدراسة، حيث المناطق الفاتحة (الباهتة) تبين المسامات المفتوحة.

تختلف الخلايا الغربالية عن العناصر الغربالية لأنها لازالت بحالة تطور حتى الآن، ولا تكون ذات تخفيض عالية مثل العناصر الغربالية والمقارنة مع العناصر الغربالية، فإن الخلايا الغربالية تحتوي على عدد أكثر من الميتاكوندريا، ولها قطر أصفر (2.5 مكرومتر) وعلى خلاف العنصر الغربالي توجد في النظام التعرقي للأوراق. والصورة 3.4 تبين مقطعاً عرضياً للعرق الثانوي لـ Tagetes patula من عمل Evert, 1980. ويشمل عرق خلايا الخشب، والأوعية الخلايا البرانشيمية العناصر الغربالية والخلايا البرانشيمية للحاء والخلايا المصاحبة، وهذُا الخلايا الأخيرة في الحقيقة هي مصاحبة للخلايا الغربالية وهي مشتقة من نفس الخلايا الإنشائية (المرستمية) التي تطورت منها الخلايا الغربالية وتلعب الخلايا المصاحبة دوراً مهماً في حمولة (حشوه) الماء Phloem leading. حيث شاهد Taip, 1969 في أوراق نبات بنجر السكر تراكماً نواتج التمثيل المصنعة حديثاً وتسود في الخلايا المصاحبة. إن العناصر الغربالية

والخلايا المصاحبة تكون مرتبطة عدداً من الخيوط البلازمية (البلازمودسمات)، وهذان نوعان من الخلايا يعتبرا في الغالب وحدة وظيفية يطلق عليها معقد عناصر الغربالية المصاحبة (Geiger, 1975).

نظام التعرق الثانوي الذي يؤلف الخلايا الغربالية والخلايا المصاحبة يمكن مقارنته كخيوط شبكية دقيقة (الصورة 4.4). وفي أوراق بنجر السكر كمثال لأن الطول الكلي لهذا النظام العرقي يقدر بحوالي 70سم^2 من مساحة الورقة (Geiger and Cataldo, 1969) وهذا الطول الكلي يكون أكثر من الطول الكلي للعروق الرئيسية بحوالي عشرة أضعاف. وهذا يبين أهمية نظام التعرق الثانوي في جميع المواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي. ويكون معدل متوسط مسافة خلايا النسيج الوسطي من العروق الدقيقة تقريباً 70 ميكرومتر أو بطول يقرب من طول خليتين، ولهذا فإن المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي يكون تبادل الخلايا المصاحبة، وتنتقل المواد المنتجة من هذه العروق الثانوية إلى العروق الرئيسية. ولهذا فإنها تعتبر كمجاري مساعدة (Contri butory streams) لنظام التعرق الرئيسية.

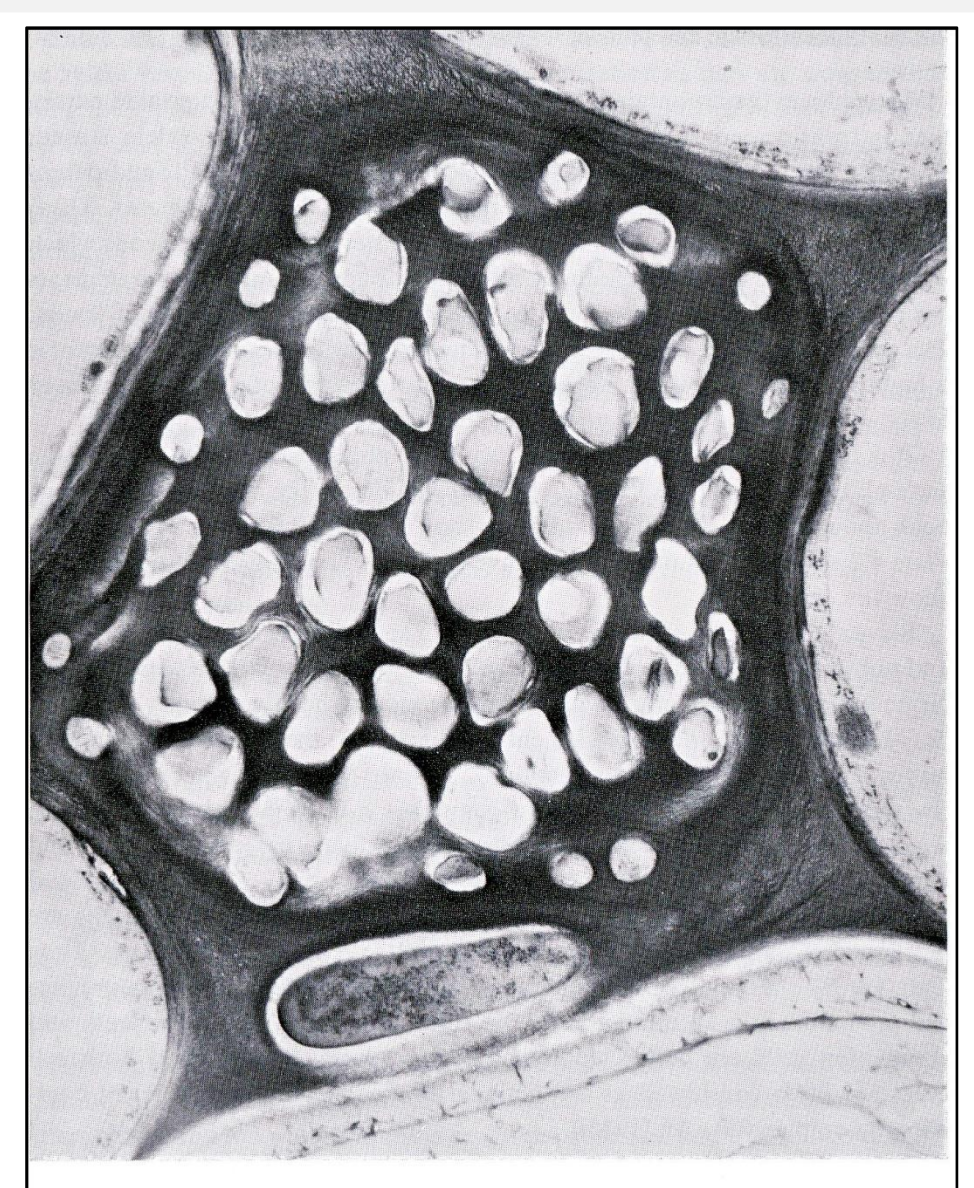


Plate 4.2 Sieve plate in a soya bean petiole which was quickly frozen *in situ*. The functional condition of this sieve tube was established by microautoradiograph.
(Photo: FISHER)

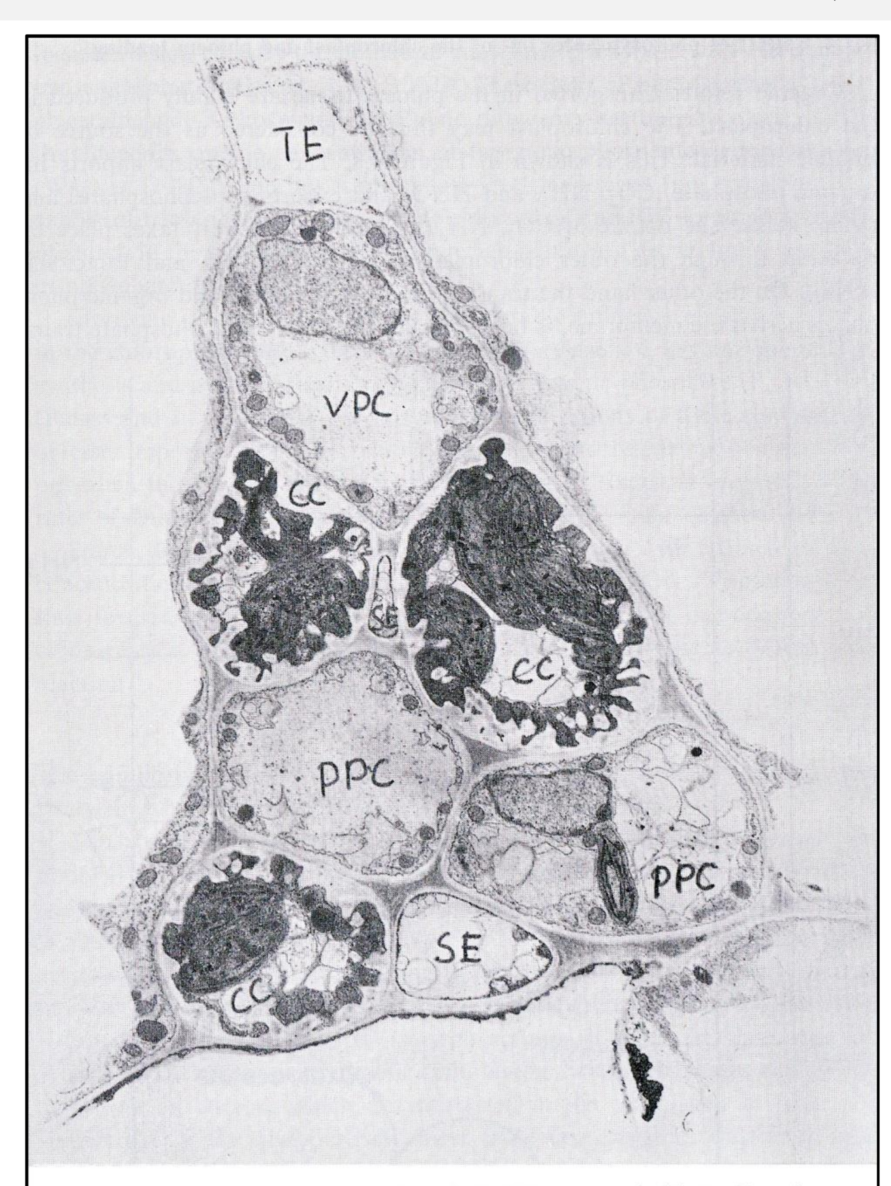


Plate 4.3 Cross section of a minor vain from leaf of *Tagetes patula* (Photo: EVERT)
TE = Tracheary element (xylem)
VPC = Vascular parenchyma cells
CC = Companion cell
SE = Sieve cell
PPC = Phloem parenchyma cells

4.3.4 نقل نواتج عملية البناء الضوئي إلى خارج الكلوربلاست وحمولة (مشحون) اللحاء.

إن المذابات (المواد الذائبة) العضوية التي تنتقل في النسيج اللحائي تنتج بصورة رئيسية في الكلوربلاست. لذا يمكن أعتبار الكلوربلاست مصدراً للمواد العضوية. وهذا مبين في الشكل 8.4.حيث يستورد الكلوربلاست الفوسفات غير العضوي الترايوز Triosephosphate والأحماض الأمينية. وربما يحصل امتصاص CO_2 و NH_3 و HNO_2 بوساطة الانتشار خلال غشاء الكلوربلاست الخارجي (Heber , and parezeld , 1977) ومن ناحية أخرى فإن انتقال كل من الفوسفات العضوي وغير العضوي خلال الغشاء، يحدث بوساطة ما يسمى حامل الفوسفات الذي يربط امتصاص الفوسفات غير العضوي مع تصدير فوسفات الترايوز (Heidi et al 1977). لذا فإن تصدير المواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي مثل 3- فوسفوجليس الدهيد (GAP) phosphate – 3- glyceral / dehyde و DHA، de hydrox – acetone phosphate. يعتمد على تركيز الفوسفات غير العضوي في السيتوبلازم (walker, 1980) ومستوى الفوسفات المنخفضة كثيراً يمكن أن ينتج عند انخفاض في فوسفات الترايوز المصدر إلى الكلوربلاست مؤدياً إلى تراكم النشا في الكلوربلاست، كما يحصل في النباتات النامية تحت ظروف نقصان الفوسفات ككل لأن الفوسفات غير العضوي له تأثير كبير على عملية تصنيع النشا في الكلوربلاست، وإن إنزيم ADP – glucose phorphosphory lase، هو المسؤول عن تصنيع النشا والذي ينتظم بوساطة الفوسفور غير العضوي (P_1) و PGA (1979).

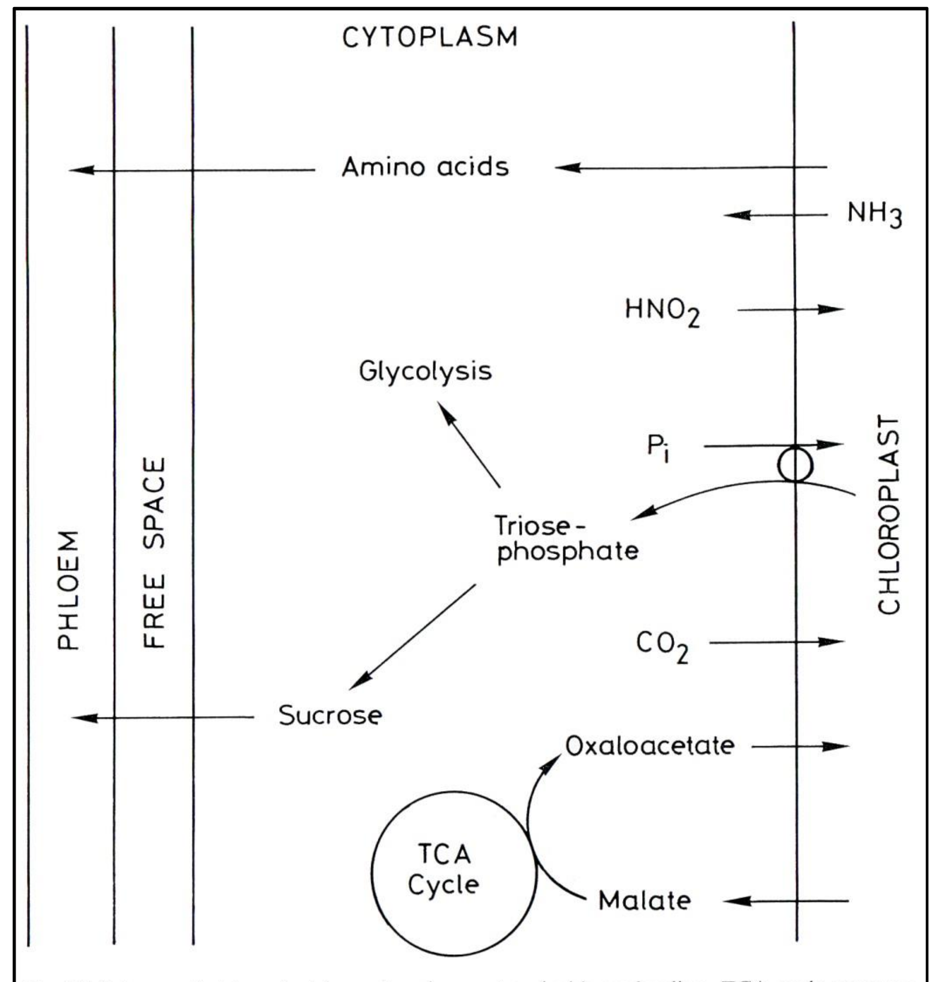


Fig.4.8 Scheme of chloroplast import and export and phloem loading. TCA cycle enzymes are located in the mitochondria.

Preiss and Levi 1979. الأهمية المطلقة لهذه التركيزات المركبات تكون أقل من التركيزات النسبية التي تبدأ عندها عمل الأنزيم، عندما تكون نسبة PGA إلى P_i عالية. وطبقاً لـ 1977 Heldt et al فإن أعلى المعدلات لتصنيع النشا تحصل عن نسبة P_i / GPA يساوي 1.7.

انحلال النشا في الكلوربلاست تصاحبه بزيادة في تركيزات hexosephosphates وDHAP و PGA. ولذا فإن فوسفات الترايوز المتكون يمكن أن يتحرر إلى السيتوبلازم، وربما يحدث انحلال للنشا بسبب أنزيم Phosphorylase طبقاً للتفاعل.

$$(Glucan)_n + P_i \leftrightarrows (Glucan)_{n-1} + glucosw\text{-}1\text{-}phosphate$$

الاتزان في هذا التفاعل يعتمد على مستوى P_i والجلوكوز -1- فوسفات، حيث أن المستويات العالية من P_i تشجع أغلال النشا.

إن تصدير نواتج البناء الضوئي من الكلوربلاست لا تمثل إزالة الكربون العضوي فحسب بل تمثل أيضاً تصديراً للطاقة، وهذا متمثل في فوسفات الترايوزر، وأيضاً في الماليت الذي ربما ينتج في الكلوربلاست بوساطة أختزال الأكسالوفليت (أنظر الشكل 22.3) ويمكن بهذه المكونات أن تندمج داخل مسار glycolytic (فوسفات الترايوز) أو دورة TCA (ماليت)، وهذه تساهم في احتياجات الطاقة للسيتوبلازم. نسبة كبيرة من فوسفات الترايوز المتحرر بوساطة الكلوربلاست تستعمل لتصنيع المركبات العضوية، لذا فإن فوسفات الترايوز من المواد المشكلة (precursoos) للسكروز الذي يضع في السيتوبلازم. وفي معظم الأنواع النباتية فإن هذه الكمية هي أهم مكون عضوي يشارك في الانتقال لمسافات طويلة، وبالإضافة لذلك فإن الكربون العضوي ينتقل في شكل أحماض أمينية (أنظر جدول 5.4).

إن مسار الانتقال من خلايا النسيج الوسطي إلى الورق الثانوي ليس واضحاً حتى الآن. وقد تكون سمبلاست Stsmplastic المسار متبعاً لامتداد الشبكة الأندوبلازمية

من خلايا النسيج الوسطي عبر الخيوط الأندوبلازمية endoplasmic reticulum (البلازمدسمات) إلى معقد الخلايا الغربالية المصاصة (Geiqer ,1970)، وشواهد التجارب التي تحصل عليها Geiqer , 1974 من أوراق نبات بنجر السكر، تدل على أن الفراغ الحر (ابوبلاست) يعتبر مساراً ضرورياً للمواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي عند انتقال من الخلايا الوسطى إلى معقد الخلايا الغربالية المصاحبة. وقد أفترض أن السكروز يتسرب إلى داخل أبوبلاست، وينتشر على طول الانحدار (التدرج) في التركيز اتجاه العروق الثانوية، وهذه الفرضية قد دعمت بوساطة مدى تركيز السكروز الموجود في أنسجة مختلفة لنبات بنجر السكر (Kursanov, 1974) المبين في جدول 4.4.

Table 4.4 Sucrose concentrations in various tissues of sugar beets (KURSANOV [1974])

	Concentr., M 10^{-3}
Mesophyll	3– 3.5
Minor veins	20– 25
Major veins	50– 80
Phloem sap	200–300
Storage tissue of the root	400–600

ويكون تركيز السكروز في عصارة اللحاء 100 مرة تقريباً أعلى منها في خلايا النسيج الوسطي، الذي يعني أن الانتقال إلى الأعلى يجب أن يحدث، والذي يحتاج إلى طاقة. والآن أصبح بصيغة عامة مقبولاً أن الغشاء البلازمي للمعقد الخلايا الغربالية المصاحبة تمثل مقاومة للعمليات حمولة (شحن) اللحاء. حيث وضحت تجارب Sovonick et al, 1974 أن تحميل اللحاء بالسكروز يحتاج إلى ATP. وقد تحصل Sovonick et al , 1974

على نتائج مشابه بتحميل اللحاء بالأحماض الأمينية. ويحدث الانتقال عبر الغشاء بوساطة نظام الحامل الموجه بوساطة أنزيم ATPase. وقد تم توضيح آلية الانتقال بالحامل في الفقرة 4.1.3. وقد فسر انتقال اللحاء حديثاً في نتائج المؤشر في مجلة Berichte Deutsch Bot. Ges في مجلد العدد 93 (1980).

إن تحميل اللحاء يعتمد على الإمداد بالطاقة وعلى جهد المائي للأوراق وعلى حالة التغذية بالبوتاسيوم K للنبات. وعلى أية حال فلم يتضح بعد هل للبوتاسيوم تأثير مباشر أم أنه يعمل بطريقة غير مباشرة عن طريقة توفير المستويات عالية من الطاقة (Mengle,(1980. وقد أقترح (Geiger, 1974) أن الضغط الانتفاخي للخلايا الغربالية يتحكم في تحميل أو شحن اللحاء حيث يحفزه الضغط الانتفاخي المنخفض ويهبط الضغط الانتفاخي المرتفع. ومعروف جيداً من التجارب التي أجراها Wardlaw 1969, and Brevedan and Hodges 1973 أن الشد المائي يؤثر على انتقال نواتج التمثيل لمسافات طويلة. ومع ذلك ليس واضحاً حتى الآن هل هذا الهبوط في الانتقال لمسافات طويلة هو نتيجة انخفاض في تحميل اللحاء أو يرجع إلى عملية تثبيط انتقال نواتج التمثيل عبر الأبوبلاست.

وعملية إفراغ اللحاء غير مفهومة حتى الآن. وقد اقترح عدد من المؤلفين أن عملية إفراغ هي عملية غير نشطة (غير حيوية)، وهي تعني أن السكروز والأحماض الأمينية تتسرب خارج الخلايا الغربالية إلى داخل الأبوبلاست المحيط تبعاً للتدرج (الانحدار) في تركيز يتحكم في عملية استهلاك نواتج البناء الضوئي بوساطة الخلايا المجاورة (Jenner, 1950 , mengel, 1980).

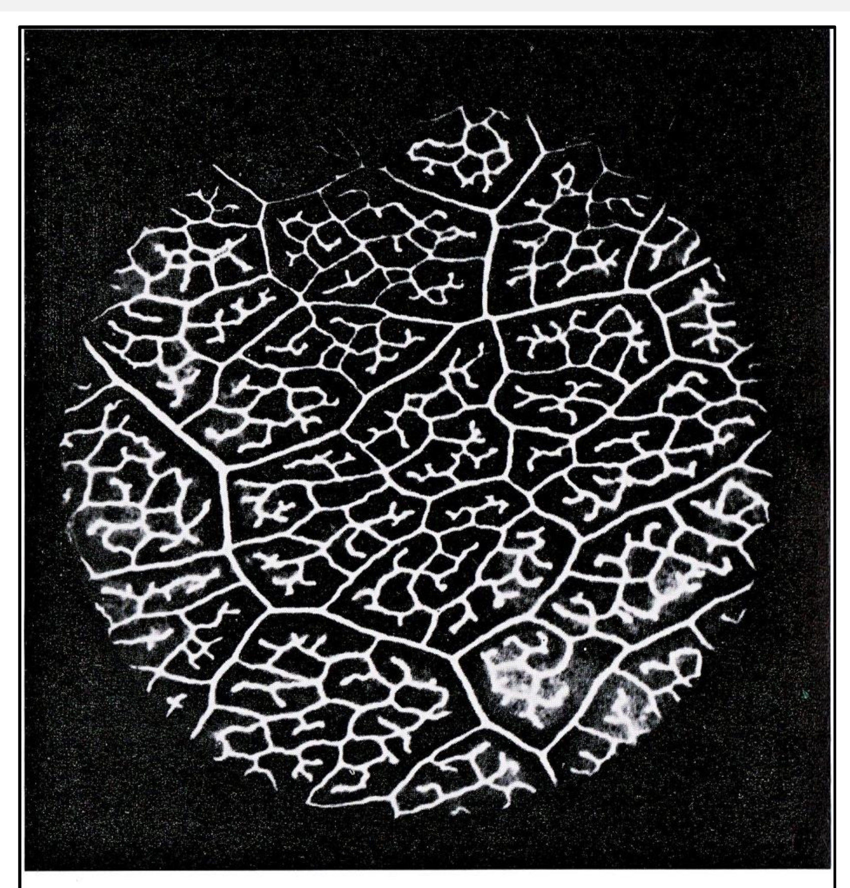


Plate 4.4 Autoradiograph showing the minor vein system of a sugar beet leaf (magnification × 10). The autoradiograph was obtained after treating the leaf with C-14 labelled sucrose and finally removing the free space sucrose by rinsing. (Photo: GEIGER)

5.3.4 آلية النقل اللحائي

اقترح Munch (1930) من منذ أكثر من 50 سنة مضت فرضية التدفق بالضغط (Pressure flow lypothesis) التي تأخذ في الاعتبار النقل اللحائي كظاهرة التدفق الكتلي، والتي وضعت بالصيغة المبسطة الآتية: تحميل اللحاء بالمذيبات (المواد الذائبة) تزيد

من الضغط في الأنابيب المنخلية، وهذا يكون مسؤولاً عن فعالية التدفق الكتلي. أن عملية تحميل وإفراغ عدم تحميل اللحاء تؤثر في حالة الماء في أنابيب الغربالية. حيث يؤدي التحميل إلى انتفاض في الجهد الأسموزي. لذلك فإن تراكم أو تجمع السكروز في الأنابيب الغربالية يكون مصحوباً بامتصاص الماء بوساطة الأسموزية ولهذا فإن الانتفاخ يحدث في الأنابيب الغربالية يكون عالياً، ويقارب من +10 بار أو أعلى من ذلك (wright and fisher, (1980)). ويحدث عكس الحالة عندما تكون الأنابيب الغربالية غير محملة بالمواد الذائبة. وأن فقد السكروز ينتج عنه انخفاض تركيز المذابات (زيادة في الجهد الأسموزي) وكذلك فقد الماء وإذا تخيل الفرد وجود أنبوبين غرباليين في نفس اللحاء، أحدهما يكون محملاً، والآخر غير محمل، فيكون من السهل تخيل الانسياب أو التدفق الكتلي على طول مستوى التدرج (الانحدار) الضغط (الشكل 9.4) شريطة أن لا تمثل الصفائح الغربالية مقاومة كبيرة لعملية التدفق الكتلي، ولكن كما رأينا أن هناك أدلة تقترح أن المسامات الغربالية تكون مفتوحة عند قيامها بالوظائف الاعتيادية.

آلية المحتملة للانتقال باللحاء قد شرحت بإسهاب بوساطة Deiger 1975. واستنتج أنها في الأساس هي ظاهرة تدفق كتلي حيث أن تحميل اللحاء يمارس دفع الآلية الميكانيكية، والسحب في هذه الآلية تمارسه عملية عدم التحميل وبغض النظر عن 50 سنة من البحث فإن فرضية Nünch وتطوراتها التي حصل عليها بصفة عامة لازالت مدعومة من قبل العديد من المختصين البارزين في فسلجة النبات ولا تزال آلية الأكثر قبولاً والتي يعتمد عليها لانتقال اللحائي (Biddulph 1969, Zimmermann , 1969, EPS

Zimmermann and Milburn 1975)، ولكن الشيء الذي يجب ذكره بجانب نظرية التدفق الكتلي التي شرحت أعلاه فقد وضعت فرضيات أخرى لتفسير الانتقال في اللحاء، ومثال لإحدى هذه الفرضيات النظرية الأسموزية الكهربائية (الكتروالأسموزية) من قبل Spanner 1975.

كما سبق وأن ذكرنا فإن التحميل في اللحاء يحتاج إلى طاقة، ويحتمل أن يكون هناك حاجة إلى الطاقة لانطلاق نواتج البناء الضوئي فيما يسمى بالمستودعات الفسيولوجية (وهي أنسجة النبات التي تخزن فيه نواتج عملية التمثيل أو تستعملها في النمو). ولازال غير واضح إذا ما كان انتقال المذابات بنفسها هي كذلك عملية مستهلكه للطاقة أم لا. ومن تجارب (Coulson et al 1972) فقد تم اقتراح أن ATP المستهلكة في نسيج اللحاء يحتاج إليها للمحافظة على النسيج، ولكن ليس لأجل عملية الانتقال. وأن تأثير درجة الحرارة على معدل الانتقال في اللحاء لا يمكن استعماله كحجة لصالح مشاركة الطاقة في العملية، لأنها تحدث تغيراً في لزوجة عصارة اللحاء. ومثل هذه التغيرات يمكن أن تكون ملحوظة حيث تحتوي عصارة اللحاء على كميات كبيرة من السكروز. والحرارة المنخفضة (0 مْ) يمكن أن تسبب انسداد الصفائح الغربالية بوساطة المادة البلازمية (Giaguinta and Geiger 1973) ويتضح من النتائج المتوفرة أن عملية الانتقال بحد ذاتها لا تحتاج إلى طاقة وأن الفكرة القائلة بأن عملية الانتقال لا تجرى مباشرةً بوساطة الطاقة تكون منسجمة مع مفهوم نظرية التدفق بالضغط.

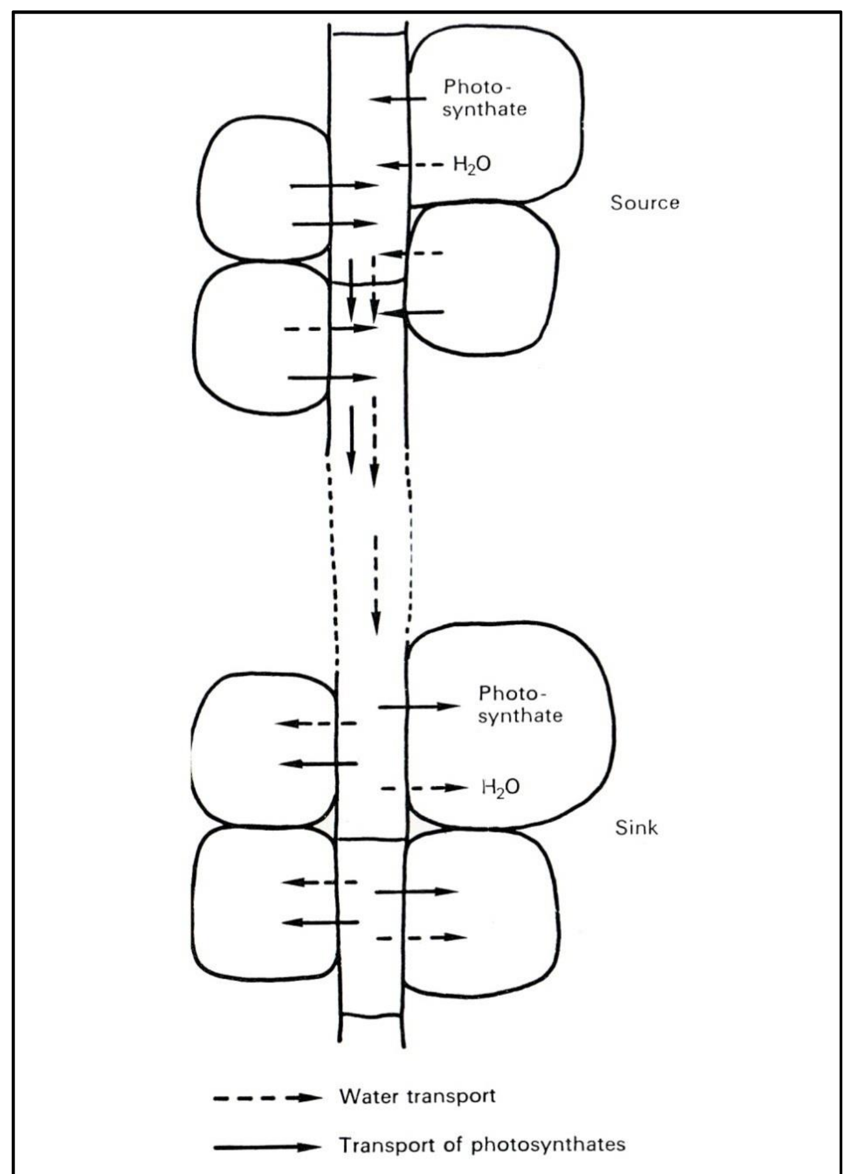


Fig.4.9 Schematic presentation showing phloem loading with photosynthate at the source and deloading at the physiological sink. Loading induces water uptake into the phloem and deloading water release. Thus resulting in a water movement from source to sink.

6.3.4 إعادة التوزيع

إن جدول 5.4 يبين مكونات عصارة اللحاء لنبات خروع الزيت (Hall and Bake, 1972). عصارة اللحاء المتحصل عليها من الأنواع نباتات أخرى تختلف فقط في التفصيل عن ما هو قدم في النتائج الموجودة في هذا الجدول. ولكن النمط الرئيسي يكون دائماً متشابهةً، فالسكروز هو المكون الذي يكون تركيزه (200 – 400 ملمول) وقد تتفاوت تركيزات الأحماض الأمينية بشكل كبير وذلك تبعاً للظروف الفسيولوجية (mengel and Haesder1977). وفي ما يتعلق بالأيونات غير العضوية (المعدنية) وخاصة البوتاسيومK^+ والمدى الأقل Mg^{2+} توجد بتركيزات عالية نسبياً. ويكون السكروز أهم صورة ينتقل منها الكربون في النبات. ومن ناحية أحرى فهناك بعض أنواع النبات ينقل فيها كجولات سكرية (مانتنول) أو Sorbitol بدلاً من السكروز. إن الهرمونات النباتية مثل الأكسينات والجبريلينيات و السيتوكينيات توجد أيضاً في عصارة اللحاء، كما هو مبين في جدول5.4. وأن pH يكون عالياً نسبياً في عصارة اللحاء (حوالي 8)، وهذا يكون نتيجة وجود كل منK^+ وHCO_3^- .

إن الانتقال في النباتات الراقية مثل الحيوانات الراقية، التي تحتوي على نظام دائري مغلق، فمسار الانتقال الرئيسي في النباتات الراقية هما اللحاء والخشب اللذان لا يتصلان مباشرة مع بعضهما البعض، ولذا ففي عملية الاتصال بين هذين المسارين اللحاء والخشب،

Table 4.5 Composition of phloem sap of *Ricinus communis* according to HALL and BAKER [1972]

Dry matter	10–12.5%
Sucrose	234–304 mM
Reducing sugars	–
Amino acids	35.2 mM
Keto acids	30–47 me/l
Phosphate	7.4–11.4 me/l
Sulphate	0.5–1.0 me/l
Chloride	10–19 me/l
Nitrate	–
Bicarbonate	1.7 me/l
Potassium	60–112 me/l
Sodium	2–12 me/l
Calcium	1.0–4.6 me/l
Magnesium	9–10.0 me/l
Ammonium	1.6 me/l
Auxin	0.60×10^{-4} mM
Gibberellin	0.67×10^{-5} mM
Cytokinin	0.52×10^{-4} mM
ATP	0.4–0.6 mM
pH	8.0–8.2
Osmotic potential	–14.2 to –15.2 bars
Conductance	13.2 microohms
Viscosity	1.34 cP at 20°C

يجب أن يمر الماء والمذابات من خلال الأنسجة الرابطة، حيث يمتص اللحاء الماء من الأنسجة المحيطة التي بدورها تأخذ الماء من الخشب. ولهذا فإن حوالي 5 % من الماء الذي ينتقل في الاتجاه الأعلى في الخشب يكاد انتقاله مرة أخرى خلال اللحاء إلى أجزاء النبات السفلى (Zimmermann, 1969)، وأن الجهد المائي في هذه الأنسجة الرابطة يمكن أن يكون له تأثيراً على معدل التدفق في اللحاء والخشب. والمعدل المرتفع للنتح يخفض الجهد المائي للأنسجة المحيطة بالخشب، وبذلك يُهبط انتقال الماء إلى داخل اللحاء وكذلك انتفاخ الأنابيب الغربالية.

إن انتقال المغذيات النباتية عن طريق اللحاء يعتمد بصورة كبيرة على مقدرة الأنابيب الغربالية على أخذ المغذيات النباتية بسرعة. ومن الجدول (5.4) يلاحظ أن البوتاسيوم يوجد في عصارة اللحاء بتركيز مرتفع، ولهذا السبب فإنه يمكن الانتقال بسرعة إلى أجزاء النبات المختلفة. وأن إعادة انتقال البوتاسيوم مرة ثانية من الأوراق القديمة إلى الأوراق الحديثة في نبات الشعير، وقد وضح بوساطة (Green way and Pitman, 1965). وينتقل المانغنسيوم أيضاً في اللحاء، لذا فإنه عنصر يتحرك خلال النبات ككل (Steucek and Koontz, 1970). وقد بين (Schimanski, 1973) أن مسار انتقال الماغنسيومMg^{2+} في اللحاء يكون مشابهاً لانتقال المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي. وبسبب التركيزات العالية لكل من K^{+} و Mg^{2+} في عصارة اللحاء، فإن الثمار والأنسجة المخزنة التي تجهز بصورة رئيسية بوساطة عصارة اللحاء، تكون غنية نسبياً في K^{+} و Mg^{2+}. ولهذا فإن ثمار الطماطم (Viro, 1973) ودرنات البطاطس (Addiscott, 1974) تكون غنية بالماغنسيوم بمقارنة من الكالسيوم Ca. مثل انتقال نواتج عملية البناء الضوئي (لاحظ 3.2.10). يبدو أن انتقال Mg^{2+} في اللحاء يحفز بوساطة K^{+} (Addiscott, 1974). ويوجد الكالسيوم فقط بتركيزات ضئيلة في عصارة اللحاء. ولهذا فإن الكالسيوم ينتقل عن طريق مجاري النتح إلى أجزاء النبات العليا، ونادراً ما يتحرك في الاتجاه الأسفل في اللحاء (Lonerauan and Snow Ball, 1969). وأن الاختلاف في السلوك ما بين البوتاسيوم K^{+} والماغنسيوم Mg^{2+} ومن جهة الكالسيوم Ca^{2+} ومن جهة أخرى علاقتها بانتقال اللحائي ينعكس كذلك في ظهور أعراض النقص، حيث تظهر أعراض نقص الكالسيوم أولاً في الأوراق الحديثة، لأن الكالسيوم Ca لا

يمكن إعادة انتقاله مرة أخرى من الأوراق القديمة وهذا يعني أن الكالسيوم لا يمكن أن ينتقل ضد مجرى النتح. ويحدث العكس للبوتاسيوم الماغنسيوم. حيث كلا الأيونين يمكن أن يتحركا من أجزاء النبات القديمة عن طريق مسار اللحاء، ولهذا فإنها تنتقل إلى الأنسجة الحديثة. وعندما يكون الإمداد بالبوتاسيوم K^+ أو Mg^{2+} بصورة غير كافية، فإن الـ K و الـ Mg في أجزاء النبات القديمة تتحرك وتستعمل من قبل الأنسجة النامية حديثاً. وهذا هو السبب الذي يرجع إليه ظهور أعراض نقص البوتاسيوم K^+ والماغنسيوم Mg^{2+} أولاً في الأوراق القديمة.

بما أن إمداد أعضاء النبات بالكالسيوم Ca يعتمد بصورة رئيسية على شدة النتح، ولهذا فإن معدل النتح لعضو النبات يكون له أهمية خاصة في تقدير ما يحتويه من الكالسيوم Ca^{2+}. وعندما يكون معدل النتح منخفضاً فإن الإمداد بالكالسيوم قد يكون غير كافٍ لذا يمكن أن ينتج عن نقص في الكالسيوم، وأن الثمار بصفة عامة لها معدل نتح منخفض عن الأوراق. وهذا هو السبب الذي يرجع إليه ظهور مرض نقص الطرف الزهري في نبات الطماطم، والنقرة المرة في التفاح انظر (4.2.11). وهذه الاضطرابات الفسيولوجية تكون سبب نقص في الكالسيوم Ca.

ويمكن أن ينتقل الفوسفور في اللحاء في صور عضوية وغير عضوية وتوجد كمية لا بأس بها من الفوسفور في عصارة اللحاء تكون في صورة ATP (Gardner and peal 1969). أن إعادة توزيع المركبات النيتروجينية هو جزء ضرورة في عملية أيض النيتروجين في معظم أنواع النبات. أنواع كثيرة تكون قادرة على تخزين النيتروجين N في

صورة بروتينات في المراحل المبكرة من التطور، التي تحلل مائياً في المراحل المتأخرة، وتنتقل عن طريق اللحاء إلى الثمار (Pate et al, 1979). أن نباتات C_3 خاصة، تخزن كميات عالية من البروتينات بالورقة في صورة أنزيم الكربوكسيلز RuBo والذي يمكن أن يعمل كمخزن بروتين وأيضاً كأنزيم مثبت (CO_2). وحاول (Brown, 1978) أن يبرهن على نباتات C_4 تستعمل النيتروجين بكفاءة أكبر (إنتاج الكتلة الحية Biomass) لكل وحدة نيتروجين في نبات من نباتات C_3 نظراً لاستغلالها البسيط للنيتروجين في أنزيمات إضافة الكربوكسيل في عملية البناء الضوئي Photosynthetic Carboxylation. وتتغذى الثمار بصورة رئيسية بوساطة عصارة اللحاء. وأشارPate, 1980 في الورقة المرجعية الممتازة إلى أن عصارة اللحاء تزود 98% الكربون و89% نيتروجين N و40% الماء لثمار نبات Lupinus albus. ويلاحظ أن محتوى الأحماض الأمينية يكون غالباً مرتفعاً نسبياً في اللحاء في نهاية فترة النمو، لحدوث تحلل البروتين أثناء تهرم (شيخوخة) الورقة. والأحماض الأمينية الناتجة تنتقل من الأوراق إلى الأنسجة التخزينية.

وبصورة مغايرة للانتقال الحاصل في الخشب، والذي يحدث في اتجاه واحد، فإن الانتقال في اللحاء يكون في اتجاهين (bidirectiong) وبصورة عامة فإن نواتج عملية البناء الضوئي المصنعة في الأوراق القديمة نحو الأسفل، وبصورة رئيسية إلى الجذور بينما الأوراق الأحدث تزود قمة النبات والثمار بالمواد الناتجة من عملية البناء الضوئي.

وهذا النمط التوزيعي بين كل من Major and Charnesk, (1976) نباتات السلجم. كذلك فإن اتجاه الانتقال يعتمد على الظروف الفسيولوجية، ومثال على ذلك

النوع المبين في الرسم التخطيطي في الشكل 10.4. حيث يتضح أن الورقة القديمة المواد المتمثلة أولاً تمد للورقة الحديثة بالمواد الممتلئة الوعاء (المخزن) الأولى (st Sink1) وهذا يعني أن المواد المتمثلة في الورقة القديمة قد انتقلت إلى الأعلى. وببداية تكوين الثمار يتطور مستقبلاً فسيولوجياً، وبهذا فإن المواد المتمثلة تتجه نحو الأسفل إلى الثمار الحديثة (المستقبل أو الوعاء الثاني nd Sink2). ومثل هذه العلاقة ما بين المصدر والمستقبل يكون لها أهمية في إنتاج المحصول كما هو موضح في الفصل الخامس، وأجزاء النبات الخضراء التي تزود نواتج عملية البناء الضوئي هي التي تعتبر المصدر (Source)، بينما الأنسجة التي تخزن أو تستهلك فيها المواد المتمثلة ضوئياً هي المستقبلات (Sinks).

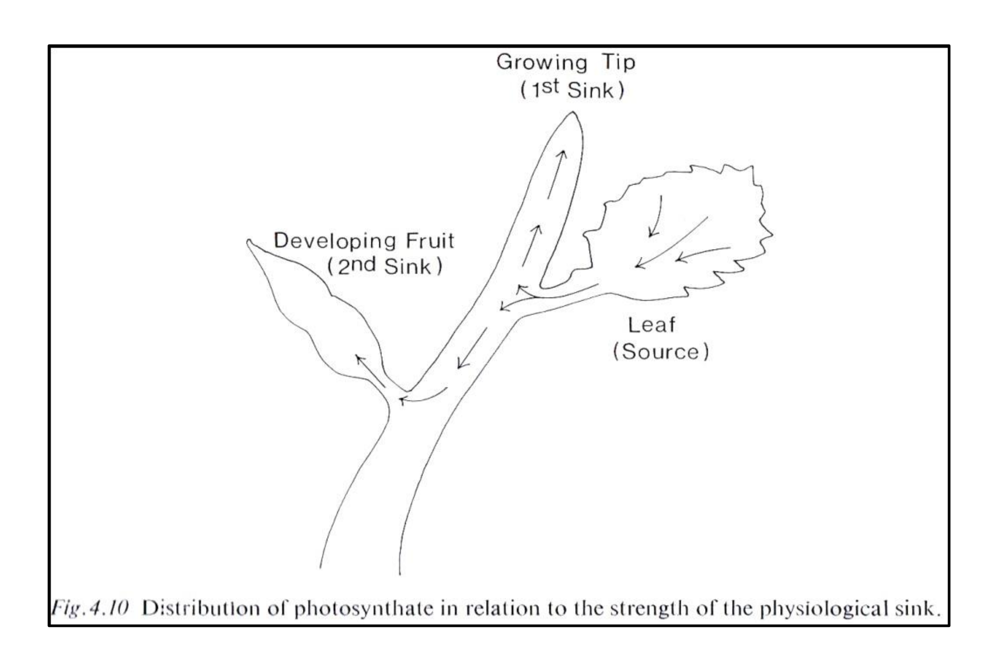


Fig.4.10 Distribution of photosynthate in relation to the strength of the physiological sink.

4.4 المفاهيم الفسيولوجية للشد المائي

1.4.4 عمليات ومقاييس الشد المائي

أن الشد المائي في النباتات هو أحد العوامل الرئيسية المحددة للإنتاج المحاصيل في العالم، ولهذا كالعلاقات الفسيولوجية تكون مرتبطة مع الشد المائي، وبذلك يستوجب دراسة جادة.

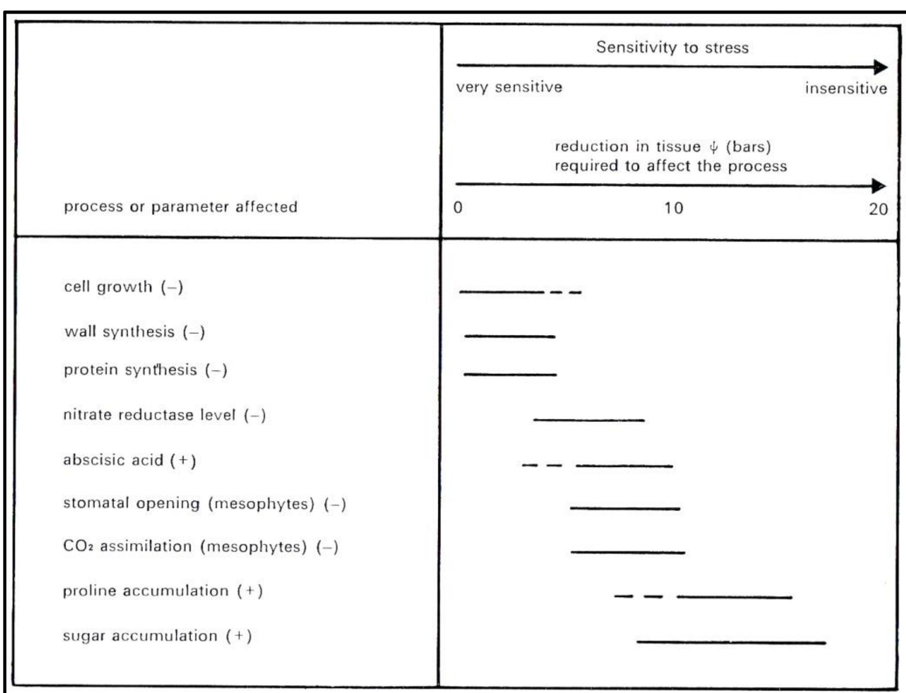


Fig.4.11 General sensitivity of some metabolic processes and parameters to water stress; (–) reduced, (+) increased (after HSIAO *et al.* [1976]).

ربما فقد الماء من الأنسجة يسبب العديد من التأثيرات، التي يمكن أن تؤدي إلى انخفاض الضغط الهيدروستاتيكي (ψ_p) داخل الخلايا يمكن أن تسبب زيادة الجزيئات الكبيرة

والمذابات ذات الوزن الجزيئي المنخفض. وأن العلاقات المكانية (Spatial relations) للأغشية الخلوية قد تتغير. وبالإضافة إلى ذلك قد يحدث انخفاض في نشاط الجهد الكيميائي لماء النبات. وكل هذه التأثيرات يمكن أن تؤثر في عمليات الأيض، فعندما تتعرض النباتات إلى الشد المائي ليس من المستغرب أن تتأثر العديد من العمليات البنائية. ويحدث هذا حتى عندما يكون هناك تغير بسيط في حالة النباتات المائية. وفي المحاصيل النباتية (mesophytic) على سبيل المثال فإن فقد الماء بمعدل 10 – 15% أي انخفاض في الجهد المائي (ψ) بمقدار 6 بار فقط، يمكن أن يؤثر بشكل ملحوظ على عمليات الأيض (Hsiao etal , 1976) والشكل 11.4 من الورقة المرجعية لـ (Hsiao et al, 1976) يشير عموماً إلى حساسية بعض العمليات البنائية للشد المائي. وهذه العمليات وعلاقتها بظاهرة الشد المائي قد شرحت أدناه.

2.4.4 تمدد الخلية وانقسامها

نمو الخلية هي العملية الأكثر حساسية للشد المائي ويبدو أن التأثير الرئيسي هو فيزيائي، فعندما يهبط الانتفاخ في خلية النبات كما يحدث في الشد المائي فإن تمدد الخلية ينقص أيضاً. نظراً لغياب الضغط داخل الخلية. لذا فإن هناك ارتباط وثيق بين النقص في حجم الخلية ودرجة الشد المائي في الأنسجة النباتية. وأحياناً فإن ضغط الانتفاخ يكون عالياً في فترة الليل فقط. وهذا يحفز معدل النمو في الليل مقارنة بمعدل النمو في فترة النهار (Boyer, 1968) وكما يؤثر ماء التربة في الجهد المائي للأوراق، فإن اتساع الورقة يعتمد أيضاً على الماء المتاح في التربة (Marl and Palmer, 1976) ولذا وضح Acevedo et al 1971

أن استطالة أوراق نبات الذرة الحديثة قد ينخفض عندما نقص الماء المتاح للوسط الجذري من –0.1 إلى –0.2 بار (PF = 2.0 إلى 2.3) أنظر إلى 3.2.2 وكان الجهد المائي لورقة يوافق – 2.8 إلى 7.8 على التوالي أي بالإضافة إلى استطالة (تمدد) الخلية فإن الشد المائي يؤثر أيضاً على انقسام الخلية. ومن خلال الدراسة الشاملة والمكثفة للمراجع فإن Hsiao 1973 يقترح أن إطالة فترة الشد المائي من الممكن يثبط أن الانقسام الخلوي، وهذا ليس واضح فيما إذا كان تأثير الشد المائي مباشراً أو غير مباشراً في الحد أو إعاقة استطالة الخلايا المرستيمية إلى الحجم الأدنى الذي يسمح بحدوث الانقسام الخلوي.

يكون الجدار الخلوي قد قيس بوساطة دمج الجلوكوز المرقم بداخل مادة الجدار. وقد وجد أنها تنخفض فعلياً بوساطة هبوط الشد المائي لبضع وحدات من الضغط (بارا) فقط (Cleland, 1967) ولقد بين أن الشد المائي يثبط اندماج الأحماض الأمينية في بروتينات (Ben-Zioni et al, 1967)، ويسبب ذلك انخفاض محتوى الأنسجة من البروتين (Mizrahi et al, 1970). ونتائج كل من (Dhindsa and Cleland, 1975) اللذين استعملا طريقة المواد المرقمة (المعلّمة) ثنائي الإشعاع (H-3 و C-14) مع سويقات بادرات avena بين أن الشد المائي يحفز على تغيرات في نوعين البروتين المنتج، وأيضاً في معدل اندماج الليوسين (Leucine) مع البروتينات. والمعروف قليلاً عن كيفية تأثير الشد المائي في تصنيع البروتينات ولكن يبدو أنه لا يعتمد على نشاط الهرمونات النباتية.

تستطيع النباتات أن تكيف لحد ما مع الشد المائي، ولذا وجد Simmelsgaard, 1976 في أبحاثه على نبات القمح حديث أن انخفاض الماء المتاح في الوسط الغذائي

(-7 بار) ينتج عن هبوط التدرجي في الجهد الأسموزي في الأوراق من -14 إلى -25 بار ولازمه انخفاض في الجهد المائي من -8 إلى 18بار، لذا يمكن حساب الضغط الهيدروستاتيكي (ψ_p) من هذه النتائج والذي كانت تحت شد المائي الأعلى من معاملة الشاهد في التجربة وهذه الزيادة في ψ_p (الانتفاخ) كانت نتيجة لتكون فجوات صغيرة تحت ظروف الشد المائي.

4.4.4 الأنزيمات

أن النقص الشديد في الماء له تأثير مباشر في مستويات الأنزيمات في النباتات. فبعض الأنزيمات زاد مستواها تحت الظروف الشد المائي المتوسط ومثال على ذلك الأنزيمات التي تشترك في عملية التحليل المائي وفي عملية نزع الهيدروجين Dehydrogenation ولكن بصفة عامة ينتج عن الشد المائي أنخفاض في المستوى الأنزيمي. وخاصة أنزيم أعتزال النترات (نترات يردكتيز nitrate reductase). وجادل ذلك (Bardzik et al, 1971) أن هذا كان نتيجة منع تكون البروتين. وقد تم أثبات أن الأنزيم الذي يكون له فترة نصف عمر قصيرة مثل أنزيم اختزال النترات يعتمد بصورة خاصة على بناء البروتين وعندما يأخذ نشاط الأنزيم في الاعتبار فإنه يجب أن نتذكر أن الشد المائي من غير المحتمل أن يسبب أي تأثير على تكوين بنية الأنزيم Conformation (الشكل) وأن يصل فقد الماء إلى نقطة الجفاف المطلوبة قبل التأثير على تكوين شكل الأنزيم.

والسؤال الجدير بالاهتمام هو أي من الأنزيمات الموجودة في الغشاء البلازمي تتأثر بالهبوط الانتفاخي (ψ_p) الذي يضغط الغشاء إلى جدار الخلايا. وقد ناقش

(Zimmermann, 1978) هذا السؤال في ورقتين المرجعية المفيدة، وأقترح أن الضغط يؤدي إلى تغير في سمك الغشاء الذي بدورة يمكن أن يؤثر في الأنزيمات الواقعة في الغشاء، لذا يحمل أن يكون التحكم في نشاط أنزيم ATP ase الواقع في الغشاء يكون لحد ما بواسطة الضغط الانتفاخي. والذي يقص ضمناً أن الجهد الغشائي يعتمد على هذا الضغط، وقد اقترح كل من Zimmermann and Beckers, 1978 أن هذه التغيرات في الجهود الغشائية تعني عموماً أنها الوسيلة التي تتحكم بها الأنسجة النباتية في التفاعلات الفسيولوجية، ومثال على ذلك امتصاص المذابات وقد ذكرت آنفاً العلاقة بين امتصاص السكروز وانتفاخ الأنابيب المغزلية. وقد وجدت علاقة مماثلة بين الانتفاخ وامتصاص البوتاسيوم K^+ في Valonia utriculars (Zimmermann, 1978). حيث يزداد امتصاص البوتاسيوم كلما قل انتفاخ الخلية والعكس صحيح. ولهذا يبدو أن للضغط الانتفاخي وظيفة ثنائية في عمليات النمو فهو مطلوب لتمدد الجدار وللتسهيل كسر وهدم، الروابط الكيميائية وفي مرحلة اللاحق فهو يتحكم في امتصاص المواد الذائبة المطلوبة للنمو.

5.4.4 الهرمونات النباتية

إن العلاقة التي تكون بين الشد المائي والهرمونات النباتية هي علاقة معقدة. وعلى أية حال توجد ظروف الشد المائي المتوسط يكون هناك تجمع سريع وكبير (شديد) لحامض الأبسيسيك ABA انظر إلى 1.5 (تركيبة ABA) (Mizrahi, 1970). وفي الأوراق الذائبة تبدو أن ارتفاع مستويات ABA والتي يتم الحفاظ عليها بوساطة زيادة في معدّل كل من تكوين ABA وأيضية (Harrison and Walton, 1975) وتجمع ABA يحفز عملية غلق

(قفل) الثغور، ويثبط النتح (Beardsell and cohen, 1975) وكلما تسارعت شيخوخة النبات بوساطة ABA فإن الظاهرة العامة تصبح النبات هرمة بسرعة أكثر تحت ظروف الشد المائي يتأكد بعلاقة تكوين ABA ومحتواها في النبات.

ومن المعروف جيداً أن الأثيلين له القدرة على إحداث تساقط الأوراق والأزهار والثمار. وهذه تكون مشكلة خاصة في إنتاج القطن، حيث يمكن فقد الأزهار النامية بالكامل والثمار الحديثة. قد برهن Mc Michael, et al 1972 بمقدمته أن الشد المائي يحصل الأوراق عرضة لفعالية الأثيلين، وإن يكوّن الأثيلين يحدث في أوراق أعناق و أوراق نباتات القطن في خلال ساعات من حصول نقص في الماء. وقد أوضح الباحثون في بعض الحالات وليس في الكل، B أن إنتاج الأثيلين أنخفض بإعادة الري، وأن تأثير الشد المائي على السيتوكنينات قد لوحظت في إفرازات جذور النباتات التي تعرضت لفترة من الشد المائي (Itai et al, 1968).

6.4.4 نشاط عملية البناء الضوئي

من المعروف أن الشد المائي يثبط فتح الثغور وعملية البناء الضوئي، ومن ناحية أخرى يبدو أن الشد المائي المتوسط تأثيراً بسيطاً على غلق الثغور (Hsiao, 1973). وعلى سبيل المثال لم يظهر نبات فول الصويا أي انخفاض في عملية تبادل الغازات، وهذا دليل على عدم غلق الثغور، حتى يهبط الجهد المائي في الأوراق إلى أقل من -10 بار، أما نباتات عباد الشمس والذرة فكانت القيمة -7 بار (Boyer, 1970) وهذه القيم تسمى بالقيم الحدية Threshold Values التي تدل أن الجهود المائية المنخفض جداً مطلوبة لمنع التبادل

الغازي. وانتشار CO_2 من الغلاف الجوي من خلال الثغور إلى داخل أنسجة الورقة. ولكن نتائج Boyer, 1970 التي تحصل عليها من التجارب التي أجريت على نبات دوار الشمس أكدت أن الجهد المائي للورقة يكون حساس بشكل أكثر بالتغيرات في عدد الورقة أكثر من التغيرات الحاصلة في عملية البناء الضوئي. كما يمكن ملاحظة في الرسم 12.4 أن تمدد الورقة يكون أكثر حساسية للتغير في الجهد المائي، وكان الهبوط سريعاً عند انخفاض الجهد المائي، إلى مستوى أقل من -3 بار، ولكن لم ينخفض صافي محصلة البناء الضوئي بشكل هام حتى وصلت القيمة تحت -8 بار. ولقد وجد Toole وزملاؤه 1977 في تجاربهم مع Phaseolus Vulgaris ارتفاعاً في امتصاص CO_2 ومعدلات النتح عند الجهد المائي للورقة يساوي -3 بار. وقد ثبط امتصاص CO_2 والنتح بانخفاض الجهد المائي إلى -9 بار.

عندما يكون الشد المائي أكثر حدة فإنه يحدث انخفاض في عملية امتصاص الـ CO_2. وعلاوة على ذلك أضعف عملية الفسفرة الضوئية وعملية التحليل الضوئي Santarius, 1967 وجد كل من Brevedan and Hodgcs, 1973 أن نباتات الذرة النامية تحت الظروف العكسية عند شد المائي بجهد المائي ما بين -17 إلى -22 بار ثبطا من معدل تمثيل CO_2. ولقد لوحظ أيضاً انخفاض في معّدل انتقال نواتج عملية البناء الضوئي من الأوراق إلى الأجزاء الأخرى للنبات. ودعا هذا الباحثان إلى أن استجابة انتقال نواتج عملية البناء الضوئي هي أكثر حساسية للشد المائي من عملية البناء الضوئي، وأن الجهود المائية المنخفضة ربما تقلل من عملية التنفس (Bell et al, 1971).

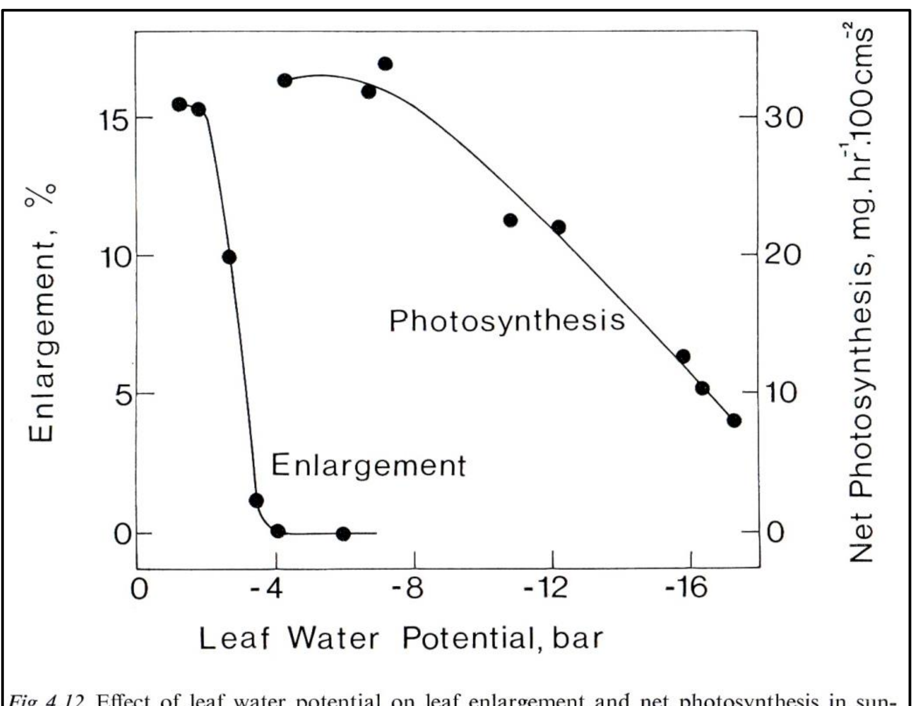


Fig.4.12 Effect of leaf water potential on leaf enlargement and net photosynthesis in sunflowers (after BOYER [1970]).

7.4.4 تجمع البرولين

عندما يكون الشد المائي أكثر وضوحاً، فإن الأحماض الأمينية الحرة وبصورة خاصة البرولين (Proline) يمكن أن تتجمع في أنسجة النبات. ونتائج الـ Singh et al 1973، تقترح أن تراكم البروتين يكون مُرتبطاً بمقدرة أنسجة النبات على الحياة تحت ظروف الشد المائي. وبين جدول (4.6) محتوى البروتين ونسبة الأوراق التي بقيت على قيد الحياة لخمسة الأصناف المختلفة من نبات الشعير التي تعرضت للإجهاد الأسموزي لمدة 73 ساعة. ونباتات الشعير التي نمت أولاً في محلول الغذائي نقلت إلى محلول جهده الأسموزي –20 بار فكانت

زيادة في مستويات البروتين كبيرة جداً، حيث ارتفعت من 1 ملجم / جم وزن جاف إلى أن وصلت إلى القيم الموجودة في الجدول (6.4). والشيء المهم في هذه النتائج هو أنه لا توجد فروق معنوية (مهمة) في الجهد المائي للورقة، ونشاط أنزيم الهيدروجينيز أو محتوى الكلوروفيل لورقة أثناء الإجهاد الأسموزي، مع ذلك لقد وجدت علاقة إيجابية بين مستوى تراكم أو تجمع البروتين وبقاء الورقة على قيد الحياة. ولقد وجد ذلك تحت الظروف المختلفة أيضاً تجمع البروتين بكميات عالية في أصناف الشعير المقاومة للجفاف والنسبة المحتمل لتجمع البروتين هو أن البروتين المصنع تقليل من الجهد الأسموزي الداخلي، للمحافظة على امتصاص الماء الإيجابي آلية التأقلم التي بواسطتها تستطيع النباتات تحمل ظروف الشد المائي.

Table 4.6 Percentage leaf area survival and proline contents of leaves from different cultivars of young barley plants subject to 73 hours osmotic stress (Singh *et al.* [1973])

Variety	Proline (mg/g dry wt.)	Leaf survival (%)
Prior	18.5	54
Ketch	15.6	41
CI 3576	13.5	36
CI 5611	11.3	27
Asahi-2	7.5	16

8.4.4 تطور الإجهاد المائي في النباتات

من الشرح السابق لقد أصبح من الواضح أن الإجهاد المائي يمكن أن يسبب حدوث تأثرات فسيولوجية مختلفة. والورقة المرجعية لـ Hsiao, 1973 على استجابة النباتات للإجهاد المائي، حيث أقترح أن المخطط التمهيدي لتطور هذه التأثرات للإجهاد المائي في الأنسجة. والتغير الأول المقترح هو نقص في نمو قمة النبات والورقة الذي يحدث بوساطة

انخفاض الجهد المائي، وهذا يصاحبه انخفاض في تكون الجدار الخلوي والبروتين في أنسجة ذات نمو غزير. وعندما يحدث انخفاض آخر في الجهد المائي يمكن أن يقلل الانقسام الخلوي ومستوى بعض الأنزيمات مثل أنزيم اختزال تتريت. وقد تغلق الثغور نتيجة لذلك يترتب عليه انخفاض في عملية النتح وتمثيل CO_2. في هذه المرحلة تبدأ تغيرات ثانية وثالثة بالظهور، حيث تظهر ميزات أخرى مرتبطة بالإجهاد المائي مثل نقص عملية التنفس ونقل نواتج عملية البناء الضوئي، ولقد لوحظ تراكم للسكريات والبروتين، وانخفاض في مستوى تمثيل CO_2 إلى أقل مستوى. وهذه التأثرات الفسيولوجية تصاحب التغيرات التشريحية في النبات، التي تشمل تجوف الخشب وانسداده بوساطة مسافات بخار Vapour Space وكذلك تهرم الأوراق القديمة وتتساقط باستمرار العملية وأخيراً يموت النبات.

5.4 الأوجه التطبيقية للإجهاد المائي

1.5.4 قيم الجهد المائي والري

عندما يكون الماء المتاح في التربة منخفضاً والنتح عالياً، ينتج عن ذلك الاتزان السالبي. أي أن فقد الماء عن طريق النبات أكثر من امتصاص له (ψ يهبط – يصبح ذا قيمة سالبة أكثر) وإذا ما أصبح فقد الماء مفرطاً فإن النباتات تذبل أولاً ويثبط الإجهاد المائي النمو.

والطريقة الاعتيادية لموازنة النقص الماء ولتحاشي الإجهاد المائي هي الري وطبقاً لـ Padurazia et al. 1969 إنه يجب أن لا يكون الجهد المائي لورقة الذرة أثناء النمو أقل من -6 إلى –7 بار. وأن قيم الخاصة لنبات بنجر السكر تكون – 5 التي تبين أن هذا

المحصول الأخير (البنجر) أكثر حساسية للإجهاد المائي .وأن ظروف رطوبة التربة المثلى لمعظم أنواع المحاصيل تكون في معدّل 0.2 — 0.5 بار (~PF 2.3 إلى 2.7). وأن إضافة الماء بكميات غير كافية يكون لها تأثير كبير على نمو معظم أنواع المحاصيل (أنظر الشكل 13.5).

يختلف احتياج المحاصيل للماء باختلاف مراحل النمو. ونبات الذرة على سبيل المثال يكون حساساً بشكل خاص للإجهاد المائي عند مرحلة تسنبل (تزهير) والري للنبات الذرة في هذه المرحلة يكون له تأثير حقيقي على إنتاجية الحبوب تحت الظروف التي يكون فيها الإمداد المائي من التربة ضعيفاً ومستوى الرطوبة للتربة منخفضاً. ومثال على ذلك مبين في جدول 7.4. حيث إن الري بـ 150 ملم من الماء في شهر يوليو — أغسطس زاد من الحاصل الإنتاجي للحبوب بصورة ملحوظة (Buchner and Sturm, 1971). وأن زيادة مستوى إضافة النيتروجين كان بها نفس التأثير على شرط أن تكون مصحوبة بالري. حيث أن إضافة النيتروجين في المعاملة التي بدون ري قد قدرت (أخفضت) من الحاصل الإنتاجي للحبوب.

Table 4.7 Interactions between N application and irrigation and the effect on the grain yield of maize (BUCHNER and STURM [1971])

Rate of N appl. kg N/ha	grain yield, tonnes/ha			
	1969		1970	
	without	with irrigation	without	with irrigation
60	5.1	8.8	3.4	6.1
120	3.8	9.7	3.7	8.7
120+60	3.3	9.6	2.3	10.0

بين Sionit et al, 1980 أن نبات القمح كان حساساً للإجهاد المائي بخاصة أثناء التزهير. وأن هذه الفترة من التطور تكون أقل قدرة على التأقلم مع الماء المنخفض المتاح في التربة مقارنة بمرحلة النمو المبكرة. ويؤدي الإجهاد المائي في مرحلة التزهير إلى انخفاض عدد السنابل والحبات في كل سنبلة وهذه تكون مضرة للإنتاجية الحبوب.

2.5.4 مضادات النتح (المواد المانعة للنتح)

إن معظم المحاصيل النباتية يكون لها طلب عالٍ للماء. والماء المفقود بوساطة النتح يزيد كثيراً عن كمية المطلوبة لعمليات النقل وغيرها من الاحتياجات الفسيولوجية الأخرى. حينما تفتح النباتات ثغورها لأجل امتصاص CO_2، فإن الماء المفقود نتيجة النتح من خلال الثغور لا يمكن تجذبه. ولا تعتبر هذه مشكلة ذا أهمية تحت ظروف المناخية الرطبة حيث أن النقص في الماء يكون غير شائع، خاصة تحت الظروف التي تكون فيها سبق ماء التربة عالية. (انظر 3.2.2). ولكن تحت الظروف الجافة يكون للإجهاد المائي تأثير هام على المحاصيل النباتية. وقد بذلت جهود لغلق جزء من الثغور بوساطة مواد كيماوية تسمى بمضادات النتح. وقد استعملت هذه المواد للتقليل من عملية استهلاك المائي بدون تأثير كبير على استيعاب CO_2 (Gale and Hagan 1960). حيث إن Waggoner and zelitch 1965 قررا أن المركب Monoethy leter oF decenyl Succinic acid بشكل خاص كان مؤثراً في إغلاق الثغور. وقد استعمل، Fulton 1967 هذا المركب الكيميائي، حيث وجد العلاقة بين تركيز المركب وعرض فتحة الثغور، كما هو مبين في الجدول 8.4 في تجربة حقلية مع بطاطس لم يكن لهذا المركب تأثير على نظام البنجر، وتحتاج هذه المركبات لدراسة أوسع لأجل

استعمالاتها والاستفادة منها في الزراعة.

Table 4.8 Relationship between stomatal aperture and concentration of the antitranspirant applied (FULTON [1967])

Concentration (M)	Width (μm)
0	8.9
10^{-5}	8.2
10^{-4}	4.4
10^{-3}	3.9
10^{-2}	2.9

وقد اقترح الباحثان Gale and Hagan 1966 طريقة أخرى للتقليل من النتح. وأسست هذه الطريقة على زيادة انعكاس الضوء بوساطة الأوراق، وبذلك تنخفض درجة الحرارة الورقة. وهذا يُنجز بوساطة رش الأوراق بكلؤونيت Kaolinte الذي يزيد من الانعكاس. وقد استعمل Abou–Khaled et al 1970 هذه الطريقة بنجاح في تقليل معّدل النتح لأنواع C-4 بدون التأثير على تمثيل CO_2، ولكن وجد MolesHet et al 1977. أن استعمال بالرش بالكلؤونيت قد سبب انخفاضاً هاماً في عملية امتصاص CO_2 وعجّل شيخوخة (التهرم) الأوراق في مراحل النمو المبكرة.

3.5.4 معامل النتح

إن استعمال معامل النتح للأغراض التطبيقية يزود وسيلة قيمة للتعبير عن الكفاءة التي يستعمل فيها الماء المستهلك لإنتاج المحاصيل. ويمكن تعريف معامل النتح بأنه كمية الماء باللتر المستعملة لإنتاج واحد كيلو جرام من المادة النباتية الجادة. جدول 9.4 يبين أن معامل

النتح يختلف باختلاف المحاصيل النباتية مقتبسة من Shantz بوساطة (Römen and Schetter, 1959) وتكون في محاصيل C_3 أعلى من محاصيل C_4 (انظر إلى 6.2.3). يستهلك نبات الصفصفة كمية أكبر من الماء لكل وحدة من المادة الجافة المنتجة بمقارنة بالذرة والسورجم. ومعامل النتح ليس قيمة مطلقة حيث يعتمد على الظروف المناخية والتربة، وأيضاً على تغذية المحصول وتحت ظروف رطوبة الهواء المنخفضة نسبياً، وكمية ماء المضافة بغزارة، فإن معاملات النتح تكون عالية والعكس صحيح عندما يكون تيسر الماء في التربة منخفضاً ورطوبة الهواء العالية. وهذا يعني أنه عندما تكون التغذية غير كافية فإن كفاءة استعمال الماء في إنتاج المحاصيل تكون قليلة. وهذه العلاقة قد نتجت من حقيقة أنه، تحت التغذية غير الجيدة يكون إنتاج المادة الجافة متأثراً بشكل أكثر من استهلاك الماء.

Table 4.9 Transpiration coefficients of various crop plants (SHANTZ, quoted by ROEMER and SCHEFFER [1959])

Crop	Coefficient	Crop	Coefficient
Sorghum	277	Oats	583
Maize	349	Spring rye	634
Sugar beet	443	Red clover	698
Spring wheat	491	Flax	783
Barley	527	Lucerne	844
Potatoes	575		

والجدول 10.4 يبين هذه العلاقة من النتائج الحقلية التي قام بها كل من (Mitscherlich and Beutelspacher, 1938) على البطاطس حيث للبوتاسيوم تأثير إيجابي على استهلاك الماء.

Table 4.10 Yield and transpiration coefficient of potatoes in relation to fertilization (MITSCHERLICH and BEUTELSPACHER [1938])

Fertilization	Yield (kg DM/m^2)	Transpiration (coefficient)
Without	450	693
Mineral	928	357
Stable manure	741	428
Mineral+stable manure	1049	320

كما وضح كل من Blanchet et al 1962 و Linser and Herwig 1968 أن البوتاسيوم يقلل من الجهد الأسموزي (ψ_s) لخلايا النبات، وبذلك يمنع فقد الماء من قبل النبات.

6.4 الملوحة

1.6.4. نظرة عامة

ملوحة التربة هي مشكلة عالمية في إنتاج المحاصيل الزراعية ففي مناطق الجافة وشبه الجافة، وبصفة خاصة فإن قطاع الترب المتكونة يتميز بارتفاع مستوى الأملاح (انظر، 262). واعتماداً على ظروف معينة بالتربة، فقد وجد واحد أو أكثر من الأيونات Na^+ وCl^- وHco_3 وMg^{2+} وSo^{3-} والبورايت، بتركيزات مرتفعة داخل المجموع الجذري، وبذلك فإنها تؤثر على نمو المحصول.

بصيغة عامة فإن وجود الأملاح الذائبة في الوسط الغذائي يستطيع أيؤثر على نمو النبات بطريقتين. وفي المقام الأول إن التركيزات العالية للأيونات معينة يمكن أن يكون ساماً، وتحفز الاضطرابات الفسيولوجية (مثال على ذلك Na^+ والبورايت). ثانياً الأملاح الذائبة

تقلل الجهد المائي للوسط الغذائي وبالتالي يحق من امتصاص الماء بواسطة الجذور، والتأثر الثاني يكون أقل أهمية، وفي بعض الأحيان يكون غير متوازن لأن تركيز الأملاح العالي في الوسط الغذائي يؤدي إلى زيادة معدّل الامتصاص الأيوني. وهذا بدورة يخفض الجهد المائي في الجذور النباتية، وبذلك فإنها تحفز امتصاص الماء، والذي يرفع من امتلاء الخلوي والضغط الانتفاخي للخلية في الأنسجة النباتية. وهذه الوسيلة في المحافظة على التوازن الإيجابي الضغط الأسموزي. والجدول 11.4 يبين هذا النوع من السلوك الذي هو من نتائج بحث Lagerwerff and Eagle (1961) حيث أضيفت مستويات متزايدة من كلوريد البوتاسيوم Kcl إلى نبات الفاصوليا النامي في وسط ملح كلوريد الصوديوم (Nacl). وتركيزات العالية من Kcl أدت إلى زيادة النمو وكذلك زيادة مستويات لـ K و لـ Cl ومحتوى الماء في الأوراق، ويهبط الجهد الأسموزي للأوراق بأكثر من 3 بار كنتيجة لزيادة مستويات لـ K وCL. كما شوهدت نفس تأثيرات لتنظيم الضغط الأسموزي من أبحاث (Bernstein 1963 و(1969) Mayber وMeiri and Poljakoff) والبوتاسيوم والكلور لهما تأثير خاص في التنظيم الأسموزي، حيث أن هذه الأنواع من الأيونات تمتص بسرعة، ويمكن أن تتراكم بتركيزات عالية في النبات، ولهذا السبب فإن الملوحة الناجمة من الكلوريد هي أقل ظهوراً في أكثر الأحيان من الملوحة الناجمة عن الكبريتات، شريطة تماثل التركيزات الأسموزية (Henckel and Solouyov 1968) ذلك أنه ليس للكلوريد تأثير سمي على النبات وإن مساهمة الصوديوم Na في التنظيم الأسموزي لخلايا النبات تختلف بشكل كبير، حيث أن جهد امتصاص وتوزيع هذا العنصر بداخل النبات تعتمد كثيراً على نوعية كل نبات بمفردة

(انظر 5.2.10).

Table 4.11 Effect of an increasing supply of KCl on the yield, K and Cl content in the leaves, and the osmotic potential of the leaf sap of *Phaseolus vulgaris* grown in a saline medium (LAGERWERFF and EAGLE [1961])

KCl-concentration me/l	FW g	K content me/g DM	Cl content me/g DM	osmotic potential (ψ_S)bars
3.5	534	1.45	1.91	−11.7
8.8	544	1.66	2.06	−12.9
14.1	562	1.92	2.27	−15.3

إن النباتات التي تعاني من تأثير الملوحة تكون متقزمة وذات أوراق صغيرة باهته بلون أصفر مزرق، ونادراً ما يشاهد عليها أعراض الذبول (Bernstein and Hay Word 1958). وهذه الأعراض مخالفة تماماً مقارنة لتلك التي تظهر على النباتات التي تعاني من الإجهاد المائي بصورة مباشرة. إن ضغط انتفاخي (Turgor) الأعلى للنباتات المؤثرة من الملوحة وصف سابقاً يعتمد على التنظيم الأسموزي الذي حدث بوساطة المعدل أعلى للامتصاص الأيوني إن الضغط الانتفاخي (Turgor) الكافي لنمو النباتات النامية في ظروف ملحية يعني بأن التأثر الضار للأملاح الذائبة على نمو النبات يكون نتيجة تحفيز عدم الانتظام الفسيولوجي أكثر من أنه نتيجة التأثر الأسموزي. ودعمت هذه بتجارب المحاليل الغذائية حيث عند إضافة الماثينول و Carbo Wax (Polyethylent gicol) وزنه الجزئي يقارب من 20.000 إلى المحلول الغذائي فإن الجهد المائي قد هبط (انخفض). وقد لوحظ نفس التأثر عند إضافة الأملاح غير العضوية. لذا يمكن مقارنة نمو نبات في محاصيل لها جهد مائي منخفض من تأثيرات الأملاح وبدون تأثيرات الأملاح. وقد أوضحت مثل هذه التجارب أن

نمو النبات يكون هزيلاً في وجود التركيزات العالية للأملاح بمقارنة بالمحلول الأسموزي مماثل لـCarbo wax (Lagerwerff and Eagle 1961).

2.6.4 سمية الأملاح

يمكن أن تؤثر الملوحة في عمليات الأيضية مختلفة مثل عملية تمثيل ثاني أكسيد الكربون CO_2 وتصنيع البروتين والتنفس أو عملية تحول الهرمونات النباتية. ولكن السؤال الذي يطرح في الغالب لا يمكن الإجابة عليه هو: هل هذه التأثيرات مباشرة أم لا؟. السمية لعدم توازن أيونات في أنسجة النباتية، وتكون غالباً بكميات زائدة من Na^+. والنباتات تستطيع أن تتغلب على زيادة في الصوديوم باستثناء الصوديوم من الامتصاص أو إفرازه إلى داخل الفجوات العصارية (Auins, 1972). وتحتاج عمليات التنظيم هذه كميات إضافية من الطاقة، ولهذا السبب فإن النباتات المعرضة للملوحة تظهر معدلات تنفس عالية (Lüttge et al 1971). وتستنزف الكربوهيدرات المخازن بمدى أكبر مقارنة بالنباتات النامية تحت الظروف غير الملحة، والنباتات التي تعني من الملوحة تكون حالة الطاقة بها ضعيفة.

والعلاقة بين إضافة الطاقة والملوحة أوضحها كل من Chimiklis and Karlander 1973 بدراسة طحلب Cholrellce أوضحها كذلك Helal and Mengel 1981 على نبات الفول Vicia Faba. وفي كلتا الحالتين تبين أن التأثير السمي للملوحة الناجمة عن Nacl (كلوريد الصوديوم) كانت أقل شدة، عندما نمت النباتات تحت الكثافة الضوئية العالية مقارنة مع الكثافة الضوئية المنخفضة، حيث أن النباتات النامية تحت ظروف الكثافة الضوئية العالية كانت قادرة على أن تحافظ على تركيزات كاتيونية متوازنة في الأعضاء النباتية،

بمقارنة مع الكثافة الضوئية المنخفضة، حيث وجدت تركيزات زائدة من الصوديوم Na^+ وتركيزات منخفضة من البوتاسيوم K^+ وحالة عدم التوازن هذه صاحبتها ضعف في عملية تمثيل ثاني أكسيد الكربون CO_2 وانخفاض كبير في تحول الدهن (Lipid) (Helal and Mengel 1981).

أن النقص في الطاقة الناتج عن الملوحة يمكن أن يؤثر على العمليات التي تحتاج إلى الطاقة مثل تمثيل CO_2 وتصنيع البروتين أو تمثيل النيتروجين غير العضوي (Helal and Mengel 1979). والظروف الملحية تعيق تصنيع السيتوكينات في الجذور وكذلك يمكن أن تثبط انتقالها إلى أجزاء النبات العلوية (Meiri Shalhevet, 1973) وتحت ظروف الملوحة الشديدة فإن السيتوبلازم يثقل بكميات زائدة من الصوديوم (Na) التي يمكن أن تؤثر على الأنزيمات والعضيات الموجودة في السيتوبلازم. لذا لقد قرر كل من Hecht–Buchholz et al 1974 أن البلاستيدات الخضراء المفصولة من نبات Phaseolus Vulqaris، والتي عرضت إلى 25 مليمول من محلول Nacl تعاني من فقد بالغ في تركيباتها الدقيقة (صورة 4.5). ويصاحب هذا الفرز استبدال للبوتاسيوم K^+ من البلاستيدات الخضراء بالصوديوم Na^+ من المحلول ولقد وضح من النتائج أيضاً. وبأتباع نفس الطريقة أن البلاستيدات الخضراء لنبات Beta Vulguris لم تتأثر وأن تبادل البوتاسيوم بالصوديوم Na/K لم يحدث كما هو المعروف فإن نبات Phaseolus من أنواع النباتات الحساسة للملوحة، بينما نبات بيتا (Beta) يتحمل الملوحة فيمكن محاولة القول أن تحمل الملوحة له علاقة بطريقة ما يثبت البلاستيدات الخضراء عن تركيزات العالية من الصوديوم

Na^+. حديثاً فقد قرر كل من (Marschner and Possingham, 1975) أن نبات بنجر السكر والسبانخ وكلاهما من الأنواع المحبة للصوديوم nataophilic (تقاوم مستويات الصوديوم العالية)، حيث ارتفاع مستويات الصوديوم العالية في الوسط الخارجي تقوم بتحفيز تمدد الخلية ونموها. على الرغم من أنه يضعف تخليق الكلوروفيل.

3.6.4 مقاومة الملوحة

توجد اختلافات واضحة في مقاومة النباتات للملوحة بين الأنواع النباتية وهذا موضح على وجه التقريب في الرسم 13.4 من الورقة المرجعية المفيدة التي قدمها كل من Green way and munns 1950. الخط "1" في الرسم بين استجابة لنمو النبات Suaeda maritime بالعلاقة مع تركيز Cl^- المشار إليه على محورX. وكان واضحاً أن أقصى نمو تم الحصول عليه عند تركيزات عالية 200 – 300 مليمول Cl^-. والخط "2" بين استجابة نبات بنجر السكر للنمو وهو ينتمي للأنواع النباتية المقاومة للملوحة Halophytes. والخط "3" يمثل نبات القطن الذي لاينتمي إلى الأنواع المقاومة للملوحة ألا أنه من الأنواع النباتية التي تتحمل الملوحة. والخط "4" يمثل نبات الفاصوليا المعروف أنه من نباتات الحساسة للملوحة. والنباتات من الأنواع المقاومة للملوحة Halophytes تكون لها المقدرة على تحمل تركيز الكترونية عالية في وسط المحلول.

ويرجع هذا إلى قدرتها على امتصاص كميات كبيرة من الأيونات و تحجزها بداخل الفجوات، والتي تساهم الجهد الأسموزي وتحتاج نباتات مقاومة للملوحة Halophytes إلى الأملاح بكميات زائدة لنموها الأقصى أو لبلوغ جهد أسموزي مرتفع من –20 إلى –50 بار

(Flower et al, 1977). أن الآلية الرئيسية التي بها تستطيع هذه الأنواع من النباتات أن تتحمل الملوحة يعتمد على تجزئة Compautnention الأيونات غير العضوية. وطبقاً Kylin and Quatrano فإن النضوج (الإفراز) النشط للصوديوم إلى داخل الفجوات يحمي السيتوبلازم من تراكيز الصوديوم Na^+ العالية جداً.

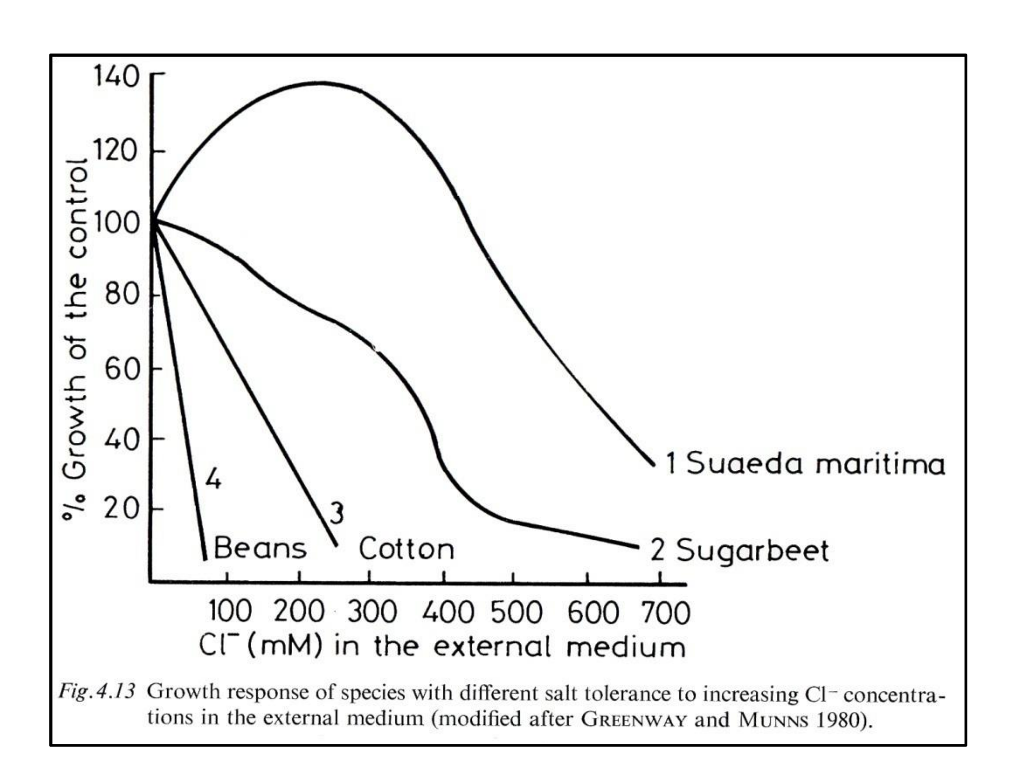


Fig.4.13 Growth response of species with different salt tolerance to increasing Cl^- concentrations in the external medium (modified after GREENWAY and MUNNS 1980).

أنواع النباتات التي لا تتحمل الملوحة Non – halophytic qlycophytes يمكن أن تملك نفس الآلية ألا أنها ليست متطورة جداً، ولكن هناك أنواعاً أخرى من النباتات التي تمنع زيادة عملية امتصاص الأملاح، وبذلك تحمي الخلايا من تركيز الأيونات العالية كثيراً. وفي

مثل هذه الأنواع فإن نقص المواد الذائبة ينتج عن ضغط انتفاخي ضعيف وهذا يعني أن العامل المحدد للنمو هو نقص الماء أكثر من سمية الملح (Green way and munns 1980).

وقد تحدث مقاومة الملوحة بواسطة إعادة امتصاص Na^+ من الأوعية الخشبية في الجزء القاعدي للجذور. ومثال على ذلك تم وصفه على صنفين من فول الصويا من قبل (Lauchi, (1979. والمثال اللافت للنظر في مقاومة الملوحة أنواع من نباتات متقاربة بينها في دراسة كل من Rush and Epstein 1976 على نبات الطماطم، صنف Lycopersican cheemanii المقاوم للملوحة، كان قادراً على البقاء حياً في المحلول الغذائي باستخدام ماء البحر كامل التركيز، بينما صنف Lycopersican esculentum لم يستطيع مقاومة أكثر من 50% من ماء البحر. حيث أن النوع الأول (Ecotype) الذي يتحمل الملوحة بحدة في أنسجة تراكم بتركيزات كبيرة من الصوديوم في الأوراق إلى حد 7% من المادة الجافة. ومن ناحية أخرى أن تراكم الأملاح في الأوراق لا يعتبر دليلاً يعول عليه في تحمل الملوحة ويثبت هذا نتائج البحوث التي قام بها كل من Lessani and Marschner 1978 اللذان بينا عن وجود محتوى مرتفع للصوديوم والبوتاسيوم في نبات الفلفل الحساس للملح وفي نبات بنجر السكر الذي يتحمل الملح. أن المقدرة على إفراز الزائد إلى الفجوات هي التي لها دور في تحمل الملح أكثر من محتوى الأملاح الكلي من الأوراق. وإذا بقيت مستويات الأملاح العالية في المسافات البينية للورقة يمكنها أن تضر حالة الماء في الخلايا.

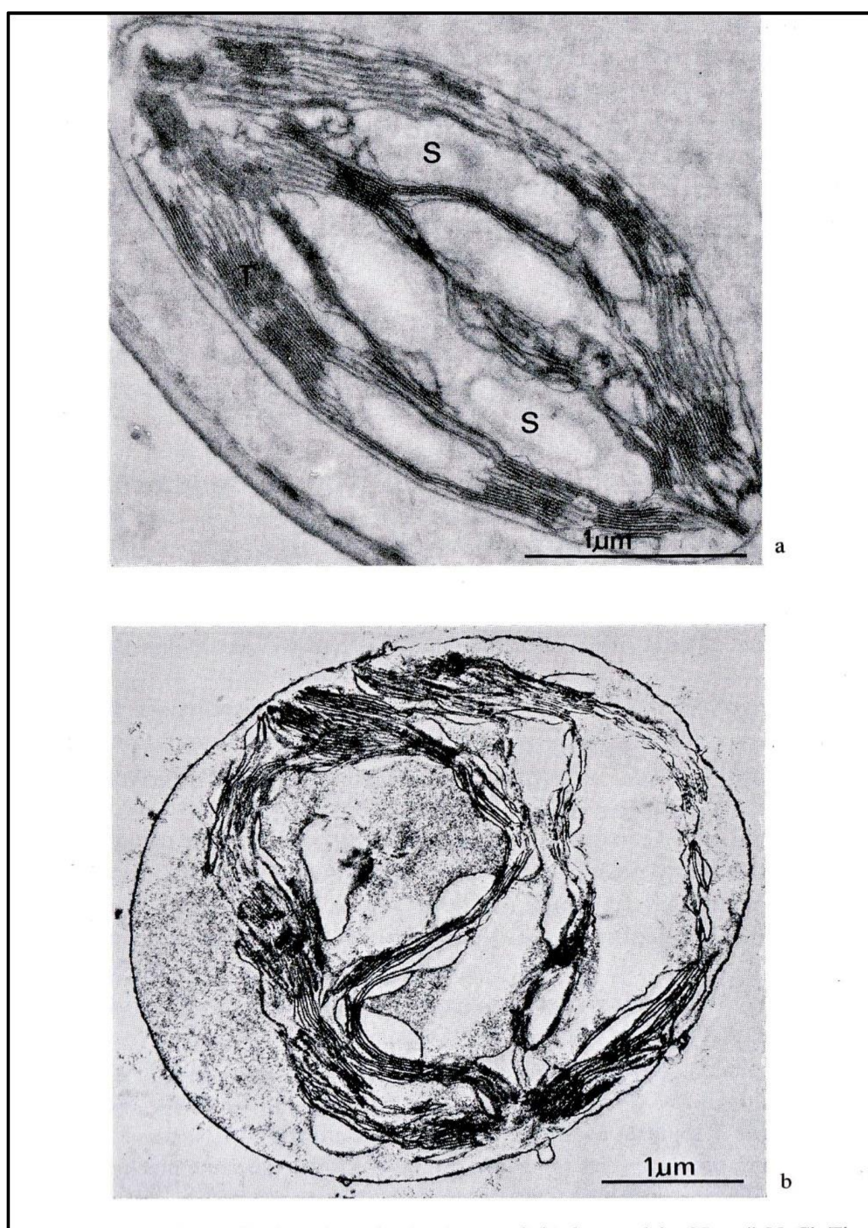


Plate 4.5 Chloroplasts of *Phaseolus vulgaris*. a) normal; b) damaged by 25 me/l NaCl. The intact chloroplast (a) shows starch inclusions (S) and thylakoids (T). (Photo: MIX)

ومن ناحية أخرى فإن مستويات الملح العالية التي توجد في السيتوبلازم يمكن أن تؤثر في النشاط الأنزيمات وأن الضرر الناتج عن زيادة مستويات الملح يحدث في الأوراق المتمددة حديثاً، حيث يتأثر نمو النبات بالضغط الانتفاخي المنخفض (Green way and Munns 1980).

وإلى أي مدى يمكن للمواد العضوية الذائبة أن تحمي السيتوبلازم من التأثير الضار لمستويات الملح العالية. هذا السؤال يبقى مفتوح ويريد جواباً ؟. وأن التركيزات العالية من المواد العضوية الذائبة التي يحتاج إليها في الحماية هي وظيفة مشكوك فيها. ولكن هناك اقتراح Green way and munns 1986 بأن glycinebetuine سيلعب دوراً في تأقلم بعض النباتات التي تتحمل الملوحة halophytes وأن وظيفة البرولين Proline في هذا الدور أمر مشكوك فيه. وطبقاً لكل من Greenway and Munns 1980 فإن الاستنتاج لايعتبر كمادة مذابة مثالية في تحمل الملح. وفي النباتات المقاومة للملوحة halophytes فإن المذابات العضوية تكون ضرورة لأسموزية السيتوبلازم كونها توازن الجهد الأسموزي المنخفض (= التركيز العالي للمذابات) للفجوات العصاريه (Flower et al 1977). وهذه المذابات العضوية في السيتوبلازم تشمل الأحماض الأمينية والبيتينات betaines والسكريات والأحماض العضوية. فيصطلح على تسميتها بالمذابات المتوافقة.

4.6.4 إنتاج المحصول

وعند دراسات إنتاجية المحصول تقاس ملوحة التربة بتقدير التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة المشبعة بالماء. ويرمز للتوصيل الكهربائي بالمللموز/ سم، وتكون عالية كلما

زاد تركيز التركيب الأيوني للمستخلص. وجدول 12.4 يوضح درجة الملوحة المعبر عنها بالموصلية الكهربائية (EC) بالعلاقة مع أنواع المحاصيل (Bern Stein, 1970) التي تظهر اختلافات كبيرة بين أنواعها وأصنافها وعلاقتها مع مقاومة الملوحة. وبصفة عامة فإن أشجار الفاكهة تكون أكثر حساسية للملوحة من المحاصيل الحقلية ومحاصيل العلف ومحاصيل الخضر. يوضح جدول 13.4 استجابة المحاصيل الحقلية المختلفة للملوحة حيث تتناقص من أعلى الجدول إلى أسفل (Bern Stein, 1970). ويعتمد التأثير الضار للملوحة على مرحلة نمو النبات وتعتبر مرحلة الشتلات الأكثر حساسية للعديد من الأنواع. يتأثر إنتاج الحبوب أكثر من إنتاج القش (التبن) في محاصيل الحبوب. والعكس صحيح بالنسبة للأرز حيث يكون حساساً عند مرحلة الأزهار وعند مرحلة تكون البذور، ويمكن أن تؤثر الملوحة على جودة المحصول، فعلى سبيل المثال تنتج مستويات منخفضة من السكر في نبات بنجر السكر .لقد اقترح Epstein وزملائه أن هناك حاجة ماسه جداً لتربية محاصيل اقتصادية تكون مقاومة للملوحة، وجادل كل من Rush and Epstein 1976 أنه باستنباط السلالات من محاصيل قادرة على التعايش مع الملوحة. فإن ما هو بمشكلة الآن سوف يصبح فرصة عظيمة إنتاج المحاصيل بواسطة ريها بالثروة المائية الضخمة والعناصر الغذائية الموجودة في المحيطات بدون تحليتها للتخلص من الملوحة. وتحليتها بهذه العملية الصناعية التي تحتاج إلى الطاقة المكلفة. بالنظر إلى الأتساع الهائل للترب المتأثرة بأملاح والزيادة الضرورية لإنتاج المحصول لسد حاجة عدد السكان العالمي المتزايد، فإن يمكن لمثل هذا البرنامج لتربية المحاصيل أن يبرهن جيداً على أهميته الملحة.

Table 4.12 Crop response to salinity (Bernstein [1970])

Salinity (EC mmhos./cm at 25° C)	Crop responses
0 to 2	Salinity effects mostly negligible
2 to 4	Yields of very sensitive crops may be restricted
4 to 8	Yields of many crops restricted
8 to 16	Only tolerant crops yield satisfactorily
Above 16	Only a few very tolerant crops yield satisfactorily

Table 4.13 Salt tolerance of various field crops as conductivity at which the yield is reduced by 25% (data of Bernstein [1970])

	EC		EC
Barley	15.8	Rice (paddy)	6.2
Sugar beet	13.0	Maize	6.2
Cotton	12.0	Sesbania	5.8
Safflower	11.3	Broadbean *(Vicia)*	5.0
Wheat	10.0	Flax	4.8
Sorghum	9.0	Beans *(Phaseolus)*	2.5
Soybean	7.2		

قراءات عامة

General Reading

ADDISCOTT, T. M.: Potassium in relation to transport of carbohydrate and ions in plants, p. 175-190. In: Potassium Research and Agricultural Production, 10tb Congr. Intern. Potash Institute, Herne, 1974.

ARANOFF, S., DAINTY, J., GORHAM, P.R., SRIVASTAVA, L.M. and SWANSON, CA.: Phloem Transport. Plenum Press 1975.

EPSTEIN, E.: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Jobn Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto, 1972.

ESCHRICH, W.: Biochemistry and fine structure of phloem in relation to transport. Ann. Rev. Plant Physiol. 21, 193-214 (1970).

FDWERS, T.J., TROKE, P.P. and YEO, A.R.: The mecbanism of salt tolerance in balopbytcs. Ann. Rev. Plant Physiol. 28, 89-121 (1977).

GREENWAY, H. and MUNNS, R.: Mechanism of salt tolerance in non halophytes. Ann. Rev. Plant Physiology 31,149-190 (1980).

HEBER, U. and HELDT, H.W.: The chloroplast envelope: structure, function and role in leaf metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 32, 139-168 (1981).

HSIAO, T. C.: Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24, 519-570 (1973) LAUCHLI, A.: Translocation of inorganic solutes. Ann. Rev. Plant Physiol. 23, 197-218 (1972).

MEIDNER, H. and SHERIFF, D. W.: Water and Plants, Blackie, 1976.

MILBURN, J.A.: Water Flow in PJants. Longman, London and New York, 1979.

MONTEITH, T.L. and WEATHERLEY, P. E.: A discussion on water relations of plants. Phil. Trans. Royal Soc. of London B 273, 433-613 (1976).

MOORBY, J.: Transport Systems in Plants Longman, London, New York,

1981
NEWMAN, E.J.: Root and soil water relations. In: E.W. Carson, (ed.): The Plant Root and its Environment, p. 362-440, University Press of Virginia, Charlottesville, 1974.

PATE, J.S.: Transport and partitioning of nitrogenous solutes. Ann. Rev. Pant Physiol. 31, 313-340 (1980).

PEEL, A. J.: Transport of Nutrients in Plants. Butterworths, London, 1974.

PITMAN, M.G.: Ion transport into the xylem. Ann. Rev. Plant Physiol. 28, 71-88 (1977).

RAINS, D. W.: Salt transport by plants in relation to salinity. Ann. Rev. Plant Physiol. 23, 367-388 (1972).

SLAYTER, R.O.: Plant-Water Relationships. Academic Press, London, New York, 1967.

SUTCLIFFE, J.F.: Plants and Water, Edward Arnold, London, 1979.

TAYLOR, H.H. and KLEPPER, B.: The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. Adv. Agron. 30, 99-128 (1978).

WARDLAW, I. F.: Phloem transport: Physical, chemical or impossible. Ann. Rev. Plant Physiol., 25, 519-539 (1974).

WARDLAW, 1. F. and PASSIOURA, J. B.: Transport and Transfer Processes in Plants. Academic Press 1976.

ZIMMFRMANN, M.: Translocation of nutrients, p. 383-417. In: M.B. Wilkins, Ed., Physiology of Plant Growth and Development. McGraw Hill, 1969.

ZIMMERMANN, M.H. and MILBURN, J.A.: Transport in Plants 1, Phloem Transport. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series VoL 1. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975.

ZIMMERMANN, U.: Physics of turgor- and osmoregulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 121-148 (1978).

الفصل الخامس

التغذية ونمو النبات

1.5 مراحل النمو ومكونات الحاصل الإنتاجي الأساسية

1.1.5 نظرة عامة

تبدأ دورة حياة النبات بالإنبات، وفي هذه العملية تحتاج البذور المدفونة أو المطمورة في التربة إلى درجة الحرارة المثلى، وأيضاً إلى الإمداد بالماء والأكسجين، ووجود عوامل نمو (endogenous) ملائمة بداخل البذرة نفسها. وهذه العوامل الداخلية هي أساساً أغلبها هرمونات نباتية مثل حامض إبسيسيك (ABA) وحامض الجبرلين (GA3) وأندول حامض الخليك (IAA). حيث أن عملية الإنبات تعتمد على عملية تصنيع أو عمليه تحللها. حيث أن درجات الحرارة المثلى للإنبات تحفز تصنيع الجرنلينيات وأندول حامض الخليك، الذين يشجعان عملية الإنبات، إلا أنها تشجع على زيادة تحلل حامض إبسيسيك المثبط لعملية الإنبات. والتركيب الجزئي لأكثر هرمونات النبات أهمية موضحة في الرسم 5.1. وتنتج الهرمونات بتركيزات منخفضة، حيث تقوم بتنظيم العمليات الفسيولوجية فهي عادة تنقل داخل النبات من مواقع الإنتاج إلى مواقع التفاعل.

يبدأ الإنبات بامتصاص الماء، وتعطي البذور المنتفخة الظروف الملائمة للتنفس. وبامتصاص البذرة للأكسجين تتأكسد الكربوهيدرات المخزنة والدهون وبعض البروتينات إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، وتتحرر الطاقة في صورة ATP و NADH (أنظر 2.2.3). وهذه الصورة من الطاقة تكون أساسية لعمليات النمو. وتحلل البروتينات المخزنة تحليلاً مائياً والأحماض الأمينية الناتجة تستعمل في تصنيع بروتينات الأنزيم والأحماض النووية. وهذان المكونان ضروريان في تكوين الخلايا المرستمية (الإنشائية) أو انقسام الخلايا التي تعتبر هي العملية التمهيدية للنمو.

وإن الجذر هو أول أجزاء النبات الذي يتطور، وهذا يعني أن الجزء المتطور في مرحلة النمو المبكرة يكون مسؤولاً عن امتصاص الماء والمغذيات، وبعدها تبدأ أجزاء البادرات العليا للمجموع الخضري بالنمو ويحفز تصنيع الكلورفيل بواسطة الضوء بمجرد أن تخترق البادرة الطبقة السطحية للتربة، ومن هذه النقطة فصاعداً يبدأ عاملان في لعب دور مهم في النمو وهما الضوء وثاني أكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي. وتزداد أهمية هذين العاملين بزيادة استنزاف البذرة للمادة المخزنة بها. والأوراق الحديثة لا تستطيع أن تعتمد على نفسها، وبذلك يجب إمدادها بالمواد الكربوهيدراتية والأحماض الأمينية وهذا الإمداد بالمادة العضوية في البادرة يتم بوساطة المركبات العضوية الموجودة في البذور.

وفي مستهل الطور الخضري الذي يتصف بالتطور السريع للأوراق والسيقان والجذور، فإن المواد العضوية اللاَّزمة تحوّل من البذور إلى الأوراق، والمواد المصنعة بعملية البناء الضوئي والتي يتم تمثيلها في الأوراق القديمة توفر مصدراً للأنسجة الحديثة. وتستقبل الأوراق الحديثة المواد الكربوهيدراتية حتى تصل إلى ثلث حجمها النهائي. إن صافي محصلة انتقال الأحماض الأمينية إلى الأوراق الحديثة يستمر لمدة أطول إلى أن تبلغ تطورها الكامل (Milthorpe and Moorby 1965) وتصدّر الأوراق الكاملة البلوغ حوالي 50% من المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي والباقي مطلوب لعمليات الأيض في الورقة نفسها وهي تستهلك في عملية التنفس، وكما هو الحال في البذور حيث أن المواد الكربوهيدراتية تتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2 وماء H_2O. وفي هذه العملية تتحرر الطاقة من المواد الكربوهيدراتية وتتحول إلى ATP.

Gibberellic acid

Indole acetic acid

Zeatin (cytokinin)

Abscisic acid (ABA)

Fig.5.1 Molecular structure of the most important phytohormones.

يعقب المرحلة الخضرية مرحلة الإنتاج، والتي تبدأ في مستهل تكون الأزهار وتكلل بنجاح بعد التلقيح وحصول النضوج. وفي تقييم نباتات مثل محاصيل الغلال؛ يمكن تمييز الطور الخضري عن الطور الإنتاجي، ولكن تكون غير واضحة في نباتات مثل الطماطم، إن هذين الطورين متداخلان. ويتقدم نم للنبات من المرحلة الخضرية إلى مرحلة النضوج، فإن المواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي توجه أكثر فأكثر بعيداً عن الأنسجة المرستمية في اتجاه الأنسجة التخزينية.

2.1.5 معدّل النمو والإمداد بالمغذي

إن الحاصل الإنتاجي يمكن أن يؤخذ كمصطلح بيولوجي وأيضاً مصطلح زراعي. إن الحاصل البيولوجي قد عرف بأنه الحاصل الإنتاجي من المادة النباتية من قبل المحصول، بينما الحاصل الاقتصادي أو الحاصل التجاري (Holliday, 1976). يأخذ في حسابه فقط أجزاء النبات التي من أجلها يزرع ويحصد المحصول. والمثال على هذا لوز القطن وبذور الغلال وأوراق التبغ ودرنات البطاطس... الخ. وعدد من نباتات المحاصيل، مثل محاصيل العلف، وبعض الخضراوات، فإن كمية المادة النباتية المنتجة فوق سطح التربة أثناء مرحلة النمو الحضري هي التي تكافئ الحاصل الاقتصادي. ومن ناحية أخرى، فإن هذه الحالة ليست في كل المحاصيل النباتية، حيث أن تطور النبات أثناء المرحلة الخضرية، هو الذي يتحكم في كل من الحاصل البيولوجي والاقتصادي وهذا الاعتماد على مرحلة النمو الخضري يطرح حقيقة أنه خلال هذه الفترة تتكون الأنسجة النباتية الخضراء التي تمد البذور والأنسجة المخزّنة بنواتج عملية البناء الضوئي وقد رمز (Holliday, 1976) للحاصل الاقتصادي أو التجارب

(Ψ) كناتج الحاصل الكلي (الإجمالي) (Ψ_t) ودليل المحصول (I_c) الذي يرمز إلى نسبة المحصود من المحصول مثل الحبوب للحاصل الإنتاجي الكلي.

$$\Psi_c = \Psi_t - I_c$$

وكنتيجة تربية النبات، فإن الأصناف الحديثة في أكثر الأحيان يكون لها دليل للمحصول النباتي أعلى عن الأصناف القديمة. حيث أن دليل المحصول لأصناف القمح الحديثة تقارب من 35 – 40 % بينما الأصناف القديمة لها دليل في مدى 23 — 30 %.

يتكون النمو الخضري بصورة رئيسة من نمو وتكون الأوراق الحديثة والسيقان والجذور. والأنسجة المرستمية لها أيض بروتيني فعال ونواتج البناء الضوئي التي تنتقل إلى هذه المواقع تستعمل بصورة رئيسة حتى تكوين الأحماض النووية والبروتينات. ولهذا السبب فإنه أثناء المرحلة الخضرية تتحكم التغذية بالنتروجين بصورة كبيرة في معدّل نمو النبات. والمعدل العالي للنمو يحدث فقط عندما تتوافر كميات كبيرة من النتروجين المتاح.

جدول 5.1 يبين تأثير التغذية بالنتروجين على نمو ومحتوى المركبات العضوية لعشبة الراي (Lolium perenne) (Hehi and Mengel, 1972) وفي المعاملة بالمستويات المنخفضة من النتروجين (0.5جم N/أصيص). ويمكن الملاحظة أن النباتات ذات الإمداد المنخفض بالنتروجين يتجمع بها الكربوهيدرات، وخاصةً النشا بولي فركتوزانان Polyfractosans، بينما ينخفض محتوى البروتين الخام كثيراً ويوضح هذا بأن التغذية بالنتروجين إذا كانت غير ملائمة فإن نواتج عملية البناء الضوئي تستخدم بشكل محدود في عملية تكوين المركبات النيتروجينية العضوية، ويخزن الباقي في صورة النشا وبولي فركتوزانات

(Minotti et al 1969). في هذا المثال فإن محتوى الكربوهيدرات للنباتات التي تعاني من النقص في N كان عالياً على الرغم من أن العينات قد أخذت في مراحل النمو الخضري المبكرة جداً.

Table 5.1 Effect of N supply on the yield and organic constituents of young ryegrass plants *(Lolium perenne)*; (Hehl and Mengel [1972])

	N supply (g N/pot)	
	0.5	2.0
Yield (g DM/pot)	14.9	26.0
Crude Protein (% DM)	12.3	26.4
Sucrose (% DM)	7.7	6.3
Polyfructosans (% DM)	10.0	1.0
Starch (% DM)	6.1	1.4
Cellulose (% DM)	14.4	17.6

وباستمرار النمو الخضري تزداد بصورة عامة مستويات الكربوهيدرات في النباتات الحولية. وأن تأثير التغذية بالنتروجين على تراكم المواد الكربوهيدراتية في كثير من الأحيان يكون غير ملحوظ عند نهاية المرحلة الخضرية وفي بداية التزهير. وعندما تكون مستويات التغذية بالنتروجين غير كافية، فإن دورة حياة النبات تقصر، حيث يبلغ النبات مرحلة النضج مبكراً تحت ظروف النقص في النتروجين، والنتيجة ضعف الحاصل الاقتصادي.

والشيخوخة المبكرة للنباتات ليست نتيجة عوز للنيتروجين اللازم لعملية تصنيع البروتين. فهي تحفز بوساطة انخفاض تصنيع السيتوكين ((Michael and Beringer (1980) والأحماض الأمينية مطلوبة لعملية تصنيع السيتوكينات، وهذا يعني أن أيض السيتوكين له علاقة وثيقة جداً بالتغذية بالنيتروجين.

يوضح المثال أعلاه بأنه يجب أن يكون هناك توازن بين معدّل إنتاج المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي لأجل النمو المثالي للنباتات. ومعدّل تمثيل أو استيعاب N. تحت الظروف التي يحدث فيها نشاط عال لعملية البناء الضوئي (شدة الإضاءة العالية، درجة الحرارة المثلى، غياب الإجهاد المائي). ويجب أن تكون مستويات التغذية بالنتروجين عالية أيضاً والعكس صحيح. في الأنواع النباتية التي بها معدّل تثبيت عالٍ لثاني أكسيد الكربون، وخاصةً الأنواع التي تمثل CO_2 عبر مسار C4، يكون الطلب على النتروجين كبيراً عندما تكون ظروف النمو مُثلى (أنظر الشكل 13.5).

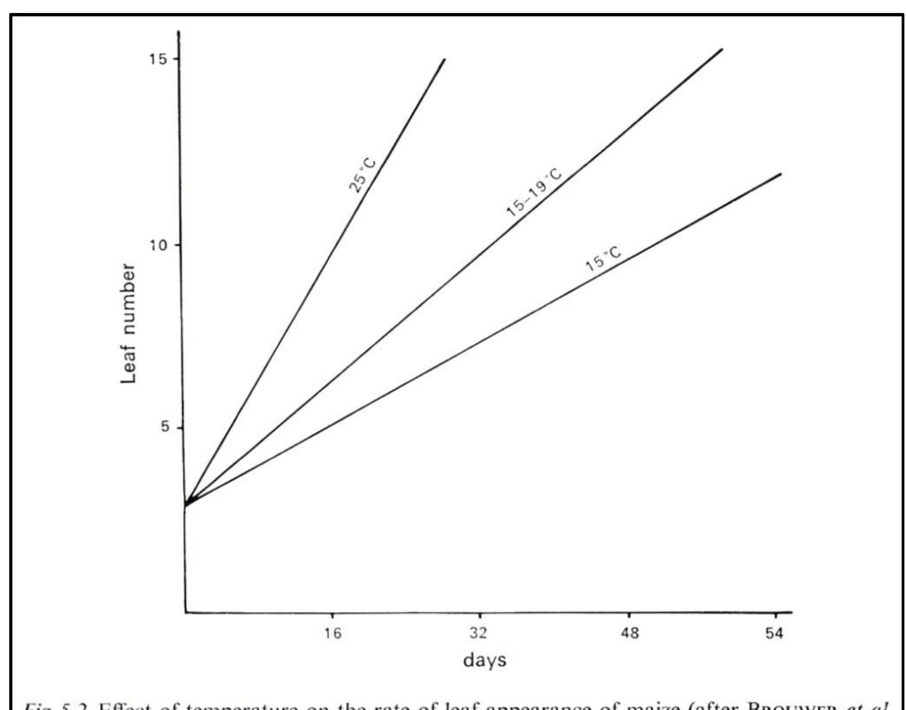


Fig.5.2 Effect of temperature on the rate of leaf appearance of maize (after BROUWER *et al.* [1973]).

إن مستوى التغذية بالنتروجين الذي يحتاج إليه لأقصى نمو أثناء النمو الخضري، يجب أن يوازن بوجود المغذيات النباتية الأخرى بكميات كافية. وتصنيع مركبات النتروجين العضوية يعتمد على عدد من الأيونات غير العضوية، والتي تشمل Mg^{2+} الضروري لتكوين الكلورفيل والفوسفور اللازم لتخليق الأحماض النووية. كذلك فامتصاص النترات وخاصة عملية تمثيله إلى البروتين فإن كل منهما يتأثر بشكل كبير بحالة البوتاسيوم في النبات. وبصفة عامة يمكن استنتاج أن الاحتياج إلى المغذيات المعدنية أثناء مرحلة النمو الخضري تقدر بصفة رئيسة بوساطة معدّل تمثيل ثاني أكسيد الكربون.

وإذا كانت نواتج عملية البناء الضوئي تنتج معدّلاً عالياً، فإن كمية المغذيات غير العضوية، يجب أن تكون عالية أيضاً من أجل تحويل مواد نواتج عملية البناء الضوئي إلى مواد حيوية عزيزة يحتاج إليها في مرحلة النمو الخضري.

إن النمو والتطور في مرحلة النمو المبكرة يعتمدان بشكل كبير على درجة الحرارة وقد بين Brouwer at al 1973 أن درجة الحرارة بصورة رئيسة تحكمت في معدل ظهور الأوراق لنباتات الذرة الحديثة، بينما شدة الإضاءة كان لها تأثير قليل. إن النتائج المهمة لهذه التجربة موجودة في الشكل 5.3. والزيادة في درجة الحرارة تؤدي إلى تحفيز النمو، بدورها تؤدي إلى تخفيف الكربوهيدرات والكلوروفيل. وهذا يحدث عندما تكون شدة الإضاءة منخفضة (الطقس المغيم). وتحت مثل هذه الظروف تتكون في الغالب الأوراق الكبيرة ذات اللون الأخضر الشاحب وسيقان طويلة (Warren/ Wilson 1969) ومن ناحية أخرى فإن شدة الإضاءة العالية ودرجة الحرارة المنخفضة، وخاصةً أثناء الليل تؤدي إلى إنتاج نباتات أصغر

ذات مقاومة أكبر للأمراض الفطرية وذات محتوى مرتفع من الكلوروفيل والكربوهيدرات.

3.1.5 محاصيل الحبوب

إن إنتاجية محاصيل الحبوب تعتمد على ثلاثة مكونات رئيسة، وهي عدد السنابل لكل هكتار، وعدد حبات كل سنبلة، ووزن الألف حبة، وعدد السنابل لكل هكتار، في محاصيل الحبوب يعتمد على كثافة البذور، والمقدرة على التصنيع حيث يتحكم العامل الوراثي في مقدرة المحاصيل على التفرع، ولكن يعتمد أيضاً على العوامل البيئية. ويصاحب النهار القصير الكثافة الضوئية المرتفعة، ودرجات الحرارة المنخفضة. إمداد وافر النتروجين تشجع الترفع (Evans et al 1975). وهذه الظروف البيئية تؤثر بشكل كبير على نشاط الهرمونات النباتية. وبالنهار الويل والارتفاع في درجات الحرارة بصاحبها ارتفاع في الأكسجين (IAA) المنتج في قمم بادرات محاصيل الحبوب. (Michael and Beringer 1980). الأكسجين (IAA) أو المركبات ذات علاقة به ويشجع الإنتاج الأيلين. الذي يثبط نمو البراعم الإبطية التي تكون الأشطاء. وتفاعل الأكسجين المنتج في القمة يعرقل أو يحد من تطور البراعم الطرفية ويسمى (بالسكون القمي) الذي يحدث بكثرة في أصناف المونولوم monoculm. وتعمل السيتوكنينات بأسلوب مخالف للأوكسينات التي تحفز نمو براعم وتفرع الأشطاء (Bruinsma, 1979). إن السيتوكنينات هي من مشتقات pyrimidine أو Purine وكلاهما يحتوي على النتروجين ذو تركيب الحلقي والتي تصنع من الأحماض الأمينية. إن التأثير التحفيزي للتغذية بالنتروجين على التفرع، ربما يكون نتيجة تأثير N على تخليقه. السيتوكنين. تحت الظروف المناخية لوسط أوربا، فإن الإنتاجية المحصولية للقمح المتحصل

عليها هي 6–7 طن حبوب/هكتار، وعندما يكون عدد السنابل حوالي 500 — 600 /م^2، ومثل هذه الكثافة العالية غير مرغوبة دائماً وفي المناطق الأكثر جفافاً فالكثافة النباتية المنخفضة تنتج غالباً محصولاً عالياً من الحبوب، حيث لا تحتاج الكثافة النباتية المنخفضة إلى الماء بكميات كبيرة. حيث تقل احتمالية الإجهاد المائي في مراحل النمو الحرجة مثل طرد السنابل والتزهير. وطبقاً لما جاء به كل من Day and Intalap (1970) فإن الإجهاد المائي عند طرد السنابل يؤدي إلى انخفاض في عدد السنابل لكل وحدة المساحة، وأيضاً عدد الحبوب لكل سنبلة. الإجهاد المائي أثناء فترة تزهير المحاصيل يعجّل عملية نضجها، والتي تؤدي إلى صغر حجم الحبات وانخفاض إنتاجية المحصول. وهذه المشاهدات تتفق مع ما وجده Pelton, 1969 تحت الظروف الجافة للحبوب الغربي ساسكتشوان Saskatchewan في أمريكا. حيث وجد أن الكثافة النباتية المنخفضة يصاحبها طول السنابل، وكبر حجم الحبات، والإنتاجية العالية لمحصول القمح.

إن عدداً من الباحثين أوضحوا أن الإمداد بالمغذيات يؤثر بشكل كبير على مكونات الإنتاج في محاصيل الغلات وقد بين Foster, 1973 أن وقف التغذية بالبوتاسيوم أثناء مرحلة التفرع يخفض من عدد السنابل وعدد حبات كل سنبلة لمحصول القمح والشوفان. وقد وجد (Chapman and Kay 1971) نفس المشاهدات، وقد بينت أيضاً أهمية التغذية الكافية بالنتروجين في مرحلة النمو المبكرة في تحديد عدد السنابل لكل وحدة مساحة من قبل Stoy, 1972.

إن عدد حبات كل سنبلة لا يتأثر بالتغذية بالنتروجين فحسب بل أيضاً بوساطة

عدة عوامل بيئية أخرى. وأقترح كل من (Michael and Beringer 1980). أن تكون السنيبلة في السنابل يتحكم فيه نوع من السكون القمي، ويتحدد أكثر السكون الطرفي، حيث أن السنيبلات الواقعة في منتصف السنبلة فهي تتطور بقوة، ويعتقد بأن هذه السنيبلات المتوسطية تمنع تكوين وتطور السنيبلات الأخرى إلى حد ما. وأن عدد حبات كل سنبلة تكون مرتبطة أيضاً بتأثير عمل الجبرلين، الذي له صلة بقصر طول الساق، وعدد الحبوب المرتفع لكل سنبلة (Gale, 1978).

وقد اكتشف أم كلورولولنين كلوريد Chlorocholine Chloride (CCC) هو مثبط لتصنيع الجبرلين، وله نفس التأثير. وهذا يدعم الفكرة القائلة أن مستويات الجبريلنينات العالية تستطيع أن تخفض من عدد حبات كل سنبلة. وكلما طالت فترة تكوين السنبلة أطول كلما كان تطور السنيبلات أكثر، وبذلك تعطي فرصة لإنتاج سنابل طويلة، التي تحتوي على عدد من الحبات الكبيرة الحجم (Evans et al 1975). ومن ناحية أخرى؛ بما أن فترة تطور السنبلة لها علاقة عكسية مع فترة امتلاء الحبوب، وبذلك فإن العدد الكبير من الحبات لكل سنبلة ترتبط بانخفاض وزن الحبوب. ويتضح هذا في الجدول 2.5 حيث قورنت بعض المكونات الإنتاج لأصناف القمح القديمة والحديثة (Header et al 1977). الحبوب التي تطورت في داخل السنيبلات التي تكونت في المراحل المبكرة محاصيل الغلال وأثناء التطور اللاحق فإن عدداً كبيراً من السنيبلات تفسد (تفشل في نموها). وفي حالة نبات الأرز فإن أكثر من 50% من عدد السنيبلات الأصلي تفش بالانحلال (Yoshide 1972) عندما تكون التغذية بالنتروجين غير كافية. انخفاض الكثافة الضوئية ودرجة الحرارة في وقت تطور

السنبلة (Fuchs, 1975). وهذه العوامل البيئية يمكن لها أن تؤثر بشكل كبير على تكوين الحبوب والصورة 1.5 تبين تطور سنبلة الشعير عند مرحلة الورقة السادسة.

Table 5.2 Grain yield and yield criteria of an old and a modern wheat cultivar (HAEDER *et al.* [1977])

	Hohenheimer Franken old cv	Kolibri modern cv
Duration from anthesis until maturation, day ..	56	47
Grain yield, g/ear	1.12	1.12
Single grain weight, mg	48.2++)	44.2
No. of grains/ear	23++)	28
Crop index, %	29.3+++)	37.7

Significant difference++) 1%, +++) 0.1% level

المكون الثالث مهم في الحاصل الإنتاجي للحبوب، هو حجم الحبوب أو وزن البذرة الواحدة المسيطر عليه وراثياً، ويعتمد أيضاً على عوامل البيئة التي تؤثر على عمليات امتلاء الحبوب أثناء النضج. وفي عملية ملء تعمل السنابل والحبوب كوعاء فسيولوجي. الأوراق وبدرجة أقل حسكة السنبلة وغلاف الحبوب هي التي توفر مصدر لهذا المخزون الفسيولوجي. وبعد بداية التزهير تستعمل نواتج مواد عملية البناء الضوئي أكثر فأكثر في عملية ملء الحبوب. وهذه الحالة موضحة في الشكل 5.4، الذي يبين توزيع نواتج مواد عملية البناء الضوئي في نبات القمح للمراحل المختلفة من التزهير حتى النضج. وتدل الأسهم في الشكل على اتجاه انتقال نواتج مواد عملية البناء الضوئي وأن أجزاء النبات المبينة باللون الأسود هي الأكثر أهمية في عملية التمثيل. وفي المرحلة الأخيرة، فإن ورقة العلم خاصة هي التي تقوم بخلب نواتج عملية البناء الضوئي لملء الحبوب (Evans and Rowson 1970). وفي أصناف

القمح ذات الحسكة تساهم نواتج عملية البناء الضوئي من ورقة العلم بحوالي 70% من إجمالي المادة المالئة للحبوب، بينما الأصناف عديمة السفا فإن ما يقارب 80% تنشأ من نفس هذا المصدر. ومواد التمثيل المتبقية تأتي بصورة رئيسة من السنبلة نفسها. ليست كل المواد المصنعة في عملية البناء الضوئي المطلوبة لملء الحبوب تصنع أثناء فترة الإنتاج والتكاثر بعد التزهير. فبعض المواد الكربوهيدراتية يتم تصنيعها قبل التزهير وتخزن في السيقان والأوراق أثناء مرحلة النمو الخضري. إن نسبة المواد التي يتم تمثيلها والمستعملة في ملء الحبوب يمكن أن يتفاوت ما بين 0 — 40 % لنبات الأرز، 5–10% لنبات القمح و 12–15 % لنبات الذرة، وفي حدود 20 % لنبات الشعير (Yoshida, 1972). وتعتمد هذه القيم إلى حد كبير على نشاط عملية البناء الضوئي بعد التزهير. وإذا كان النشاط منخفضاً لسبب من الأسباب، على سبيل المثال، بسبب الإجهاد المائي أو نقص المغذيات، فإن مواد التمثيل المضيفة قبل التزهير تساهم إلى حد كبير في عمليات ملء الحبوب والعكس هو الصحيح.

إن المعدل العالي لملء الحبوب يمكن الحصول عليه إذا كان مستوى التغذية بالنتروجين عالياً أثناء فترة الملء، وتكون حالة البوتاسيوم K في النبات عند المستوى الأمثل (Mengel and Haeder, 1974).

وفي النباتات المزودة بشكل جيد بالنتروجين تتأخر شيخوخة ورقة العلم. ويكون هناك فقد بطيء في عملية التنفس (Orlovius and Hōfner 1976). وللبوتاسيوم تأثير مشابه، بالإضافة إلى ذلك فإن البوتاسيوم يزيد من معدّل تمثيل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) (Watanbe and Yoshibe 1970)

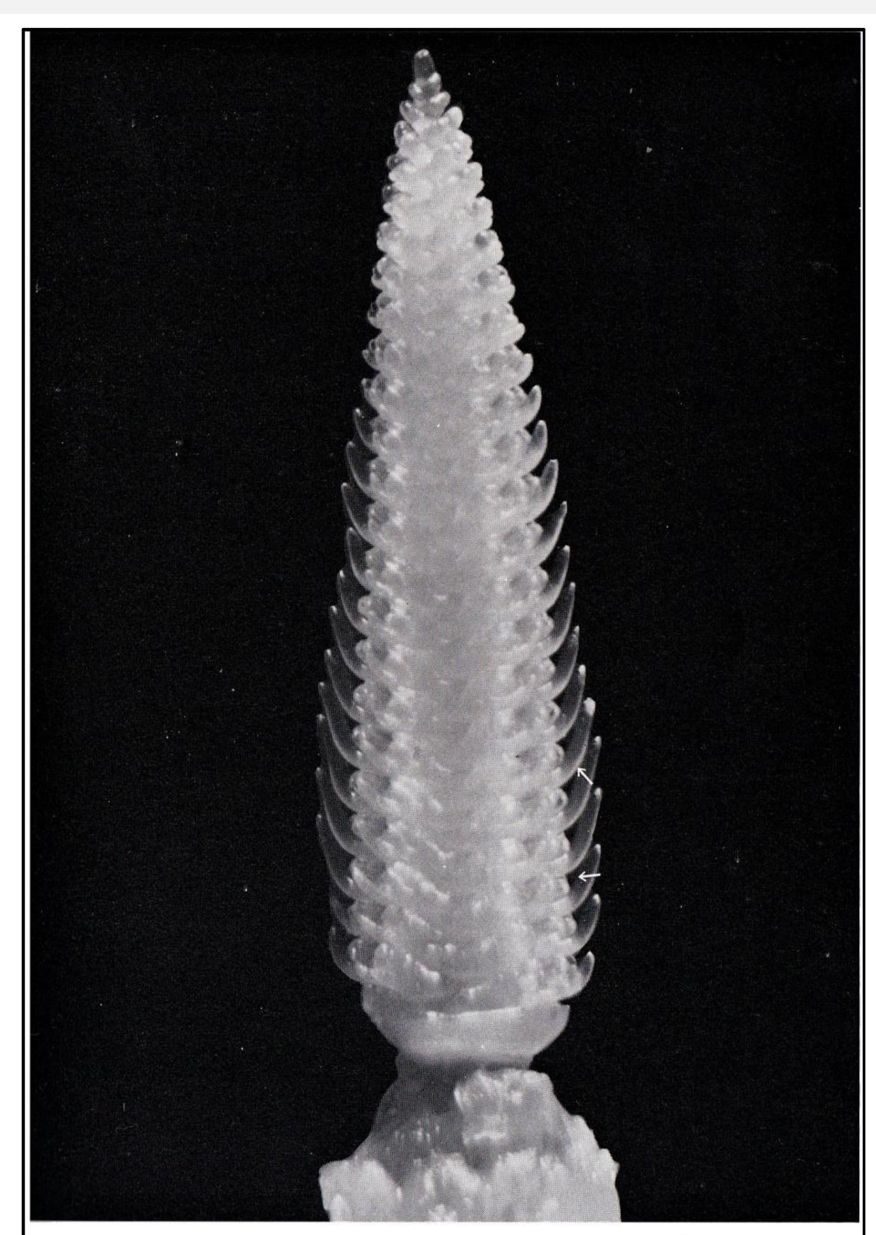


Plate 5.1 Young developing ear of barley in the 6th leaf stage at which spikelet degeneration frequently occurs. The arrows indicate an awn primordia (above) and a spikelet primordia (below). (Photo: RUCKENBAUER)

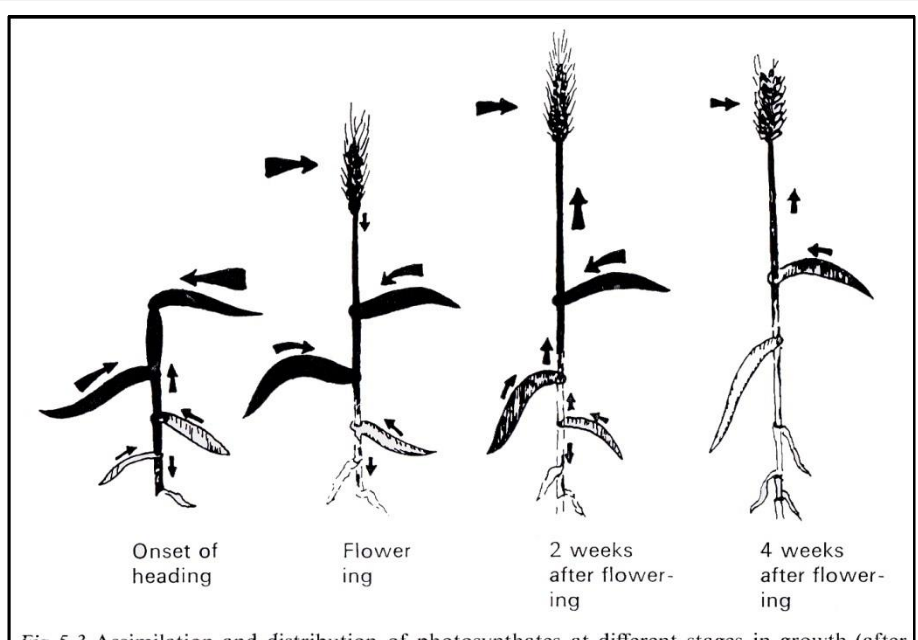


Fig.5.3 Assimilation and distribution of photosynthates at different stages in growth (after STOY).

ويبين جدول 5.2 تأثير انخفاض مستوى التغذية بالنتروجين أثناء فترة ملء الحبوب على إنتاجية حبوب القمح الربيعي (Forster,1973). وتمت المحافظة على تركيز النترات في المحلول للمعاملة الشاهد بمستوى 6.2 مللي مول، بينما في معاملة المقارنة قد خفض تركيز النترات إلى 1.2 مللي مول. وأدى هذا الانخفاض في مستوى التغذية بالنتروجين أثناء فترة ملء الحبوب إلى نقص في الحاصل الإنتاجي، حيث عزى هذا النقص إلى صغر الحبوب الناتج من هذه المعاملة.

إن محتوى البروتين الخام في الحبوب أنخفض أيضاً ولكن الانخفاض في الإنتاج لا يمكن أن يفسر بانخفاض في محتوى البروتين الخام في الحبوب. وهذه تبلغ فقط 1.2 جم لكل

100 حبة، بينما نقص الإنتاج (الفرق ما بين وزن 1000 حبة) كان 2.8 جم/1000 حبة.

Table 5.3 Effect of N supply in the grain filling stage on the yield of spring wheat (FORSTER [1973])

mM NO_3^-/l nutrient sol.	grain yield g/16 plants	TGW	crude protein %
6.2	51.4 (100)	38.2 (100)	20.6 (100)
1.2	46.6 (91)	35.4 (92)	18.9 (92)

1000 grains of the '6.2' treatment contained → 7.9 g Cr. Pr.
1000 grains of the '1.2' treatment contained → 6.7 g Cr. Pr.
Difference → 1.2 g

وغالباً لا يكون ملء الحبوب مقصوراً على الإمداد بنواتج عملية البناء الضوئي لتطور الحبوب (Jenne and atjen 1975) و (Mengel and Heada 1976) والذي يتحكم في التأثير على ملء الحبوب ليس المصدر ولكن المخزن. أثبت كل من Michael and Berirger 1980 أن هذا التأثير هو لنشاط الهرمونات لحد كبير.

وقد أوضحت الأبحاث الحديثة أن أنشطة كل هرمون من الهرمونات في الخلية تصل إلى أقصى قمة في أوقات مختلفة بين التزهير والنضج أثناء عملية ملء الحبوب. وهذا موضح في الشكل 5.4 من نتائج كل من wheeler, 1972, (Goldbach and Michael,1976) والتي عرضت حديثاً عن طريق كل من Michael and Beringer 1980 ومن هذا الشكل يبدو واضحاً بأن السيتوكنينات تصل إلى القمة حوالي أسبوع واحد من التزهير. و يعتقد أن السيتوكنينات تحكم في تكوين خلايا الاندوسبرم في الحبوب لذا فإن لها تأثير واضح على حجم البذرة. وهذه النظرية تتفق مع ما أوجده كل من Aufhammer and Solansky

1976 مع نبات القمح الربيعي وما أوجده Hersog and Geisler 1977 مع الشعير الربيعي حيث أن إضافة السيتوكينين زادت من إنتاجية الحبوب بوساطة زيادة في وزن الحبة. وذروة حامض الجبرلين (GA) واندول حامض الخليك (IAA) تظهر في 4 و 5 أسابيع على التوالي بعد التزهير. وهذان النوعان من الهرمونات ربما تشجعها من نمو الحبوب. بينما حامض ابسيسيك (ABA) له تأثير عكسي. ويمكن ملاحظته من الشكل 5.4 أن دورة ABA تتداخل مع دورة الوزن الطازج للحبة. ويمكن أن يفسر هذا الاكتشاف بأنه تأثير ABA يحفز عمليات النضج التي تتفق مع تأثير ABA المعروف جيداً في تحفيز الشيخوخة في الأنسجة النباتية الأخرى. كذلك فإن محتوى ABA في الحبوب تتحكم فيه عوامل داخلية مثل الإمداد بالماء ودرجة الحرارة. حيث درجات الحرارة العالية (حوالي 26 م°) يصاحبها محتويات عالية من ABA وفترة ملء الحبة تكون قصيرة وبذلك تخفض أوزان الحبة (Gold Baoh and Nichael 1970). كما أن نقص النتروجين والإجهاد المائي حث أيضاً تكوين ABA يؤدي هذا إلى تكوين الحبوب أصغر (Gold Bach etal 1975) قرر Haeda , 1980 حديثاً أن التغذية بالبوتاسيوم تؤثر في تركيز الـ ABA في حبوب الشعير النامية والمحتوي على مستوى عالٍ من ABA وجدت في النباتات التي تعاني نقصاً في البوتاسيوم وحامض الأبسيسيك وهذا له علاقة وثيقة بالكاروتينويد Carotenoids وهي تنتج أساساً في البلاستيدات الخضراء وهي تنقل غالباً خلال اللحاء في اتجاه القمة. وبعكس محاصيل الحبوب الأخرى، فإن الحاصلات الإنتاجية لحبوب الأرز يمكن أن تتحسن تحسناً محدوداً بزيادة حجم الحبوب فقط.

وهذا لأن نمو الحبوب يكون محدوداً فسيولوجياً عن طريق حجم الغلاف (Yoshida, 1972). وإذا كانت الحالة الغذائية في النبات كافية، فإن معدل نواتج مواد عملية البناء الضوئي (المصدر الفسيولوجي) ليس هو الذي يحدد النمو، بل أن المخزن الفسيولوجي تعتمد على عدد الحبوب لكل وحدة مساحة (Tanaka, 1973) ويمكن أن يرتفع عدد الحبات لكل سنبلة عنقودية وزيادة عدد السنابل العنقودية لكل نبات. إن عدد السنابل العنقودية لكل نبات تبدأ متأخرة في مرحلة التفرع، وإن عدد السنيبلات لكل سنبلة عنقودية تحدد بعشرة أيام قبل الإزهار. وهذه المراحل الحرجة مهمة في إنتاجية الحبوب لنبات الأرز فقط تحت ظروف التغذية والظروف المناخية المثلى لكي يتكون عدد من السنيبلات المخصبة. وعندما يحدث الإخصاب ينتج عنه مخزن (وعاء) ذو سعة عالية تحتاج إلى الإمداد بكميات وفيرة من الكربوهيدرات أثناء فترة ملء الحبوب. ودرجة الحرارة المنخفضة والكثافة الضوئية العالية والإمداد بكميات وفيرة من النتروجين تشجع التفرع في الأرز. تفسخ السنابل يكون قليلاً عند الشدة الضوئية العالية والعكس هو الصحيح. وإن ملء الحبوب يتحسن

بوساطة الإمداد الكافي بالأكسجين O_2 للجذور أثناء مرحلة ملء الحبوب (Murate and Matsushima 1975) لأن الـ O_2 يمن شيخوخة الجذور، ومن ثم يسمح للجذور بأن تمد الأجزاء العليا للنبات بالسيتوكينين لفترة أطول. وأن توزيع مواد نواتج البناء الضوئي المتاحة بتأثر بكل من عدد السنابل العنقودية وعدد السنيبلات لكل سنبلة عنقودية. وإذا كان معدل إنتاج مواد عملية التمثيل محدوداً، فإن عدداً كبيراً من السنابل العنقودية لكل

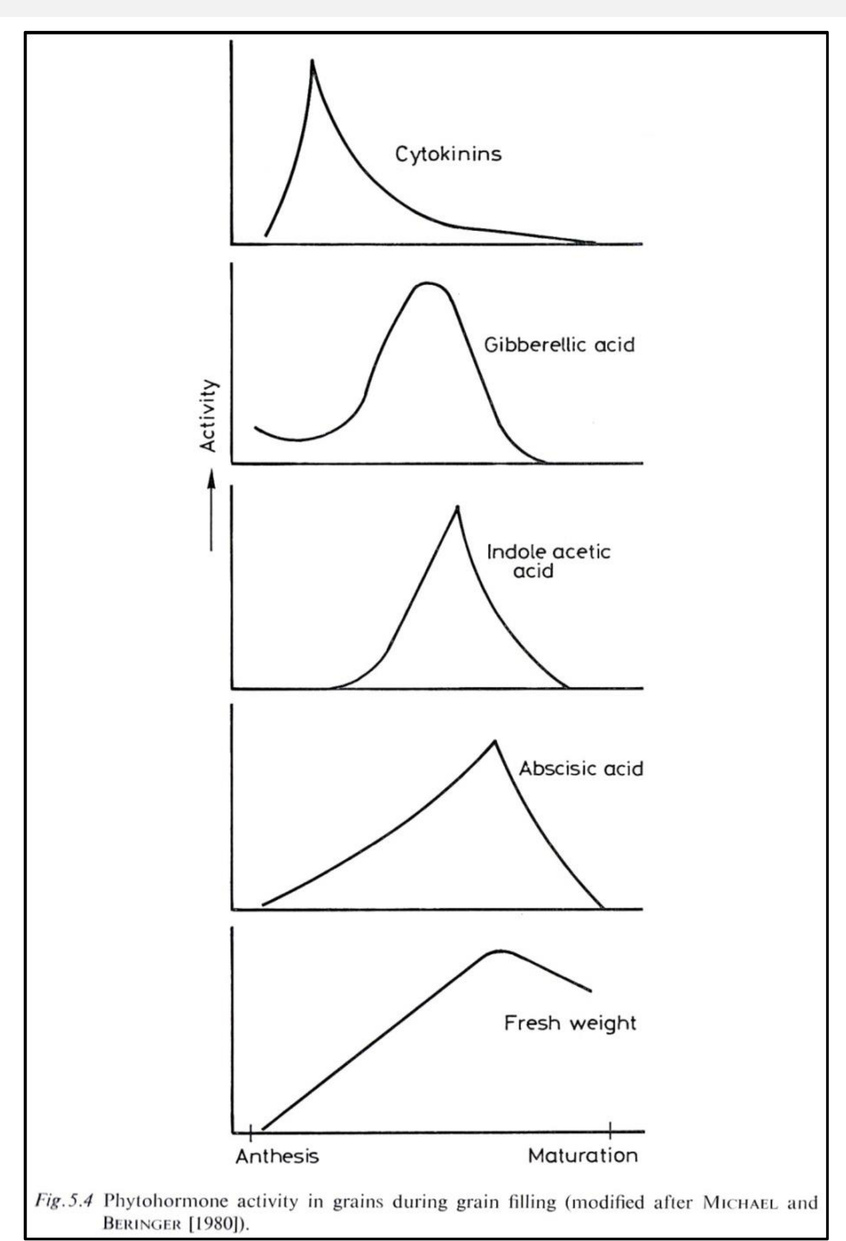


Fig.5.4 Phytohormone activity in grains during grain filling (modified after MICHAEL and BERINGER [1980]).

وحدة مساحة تكون في الغالب مصحوبة بانخفاض في عدد الحبوب بكل سنبلة

عنقودية، وزيادة في الأغلفة الفارغة.

إن معدل النمو بعد التزهير يؤثر كذلك على الحاصل الإنتاجي لحبوب الأرز وإذا كانت فترة النضج قصيرة هي التي قد تحدث عندما يعاني المحصول من النقص في النتروجين، فإن النتيجة هي انخفاض الحاصل الإنتاجي للحبوب. وبعد التزهير فإن محصول الأرز بصفة خاصة يحتاج إلى الإمداد بكميات وافرة من النتروجين N والبوتاسيوم K، وللحصول على أقصى خاصلات إنتاجية يكون في مدى 10 طن حبوب / هكتار، فإن التسميد بالنتروجين والبوتاسيوم يكون في وقت متأخر (Tanaka, 1972).

جدول 5.4 يوضح مخططاً لمكونات الحاصل الإنتاجي لصنف الأرز ذي الحاصل الإنتاجي العالي (Toaiyama, 1974).

في المواسم الرطبة، حيث تكون الشدة الضوئية منخفضة، فإن الأشعة الشمسية هي العامل المحدد للحاصل الإنتاجي في الغالب، تؤدي إلى انخفاض عدد السنابل العنقودية لكل وحدة مساحة.

Table 5.4 The model yield components of a high yielding rice cultivar at different climatic regions (TORIYAMA [1974])

Component	Monsoon climate		Moderate climate (Japan)
	Wet season	Dry season	
Panicle number per m^2	250	375	400
Grains per panicle	100	100	80
Total number of grains per m^2	25 000	37 500	32 000
Filled grain in %	85	85	85
1000-grain weight	29.0	29.0	27.0
Computed grain yield (tonnes/ha)	6.6	9.2	7.5

ينمو نبات الذرة تحت عدة ظروف مناخية شريطة أن تكون درجة الحرارة ليست منخفضة جداً (Aknon , 1975). وطبقاً لـ Duncon , 1975 فإن أحسن حاصل إنتاجي قد أحرز تحت درجات الحرارة العالية أثناء فترة النهار (30–33م°) وبرودة منخفض نسبياً أثناء الليل. يتميز نبات الذرة بمعدل نمو عالٍ يحتاج أيضاً لاحتياجات غذائية تكون عالية مقارنة بمحاصيل الحبوب الأخرى. إن امتصاص المغذيات وإنتاج المادة الجافة لنبات الذرة موضحة في الشكل 5.5 (Nelson , 1968) حيث يستجيب نبات الذرة بشكل إيجابي لمستويات النتروجين العالية. (Ber Ter , 1976) و (Shimsh , 1969) انظر أيضاً إلى الشكل 5.13. وأقصى حاصل إنتاجي للحبوب نحصل عليه يتحاشى الإجهاد المائي (Decaa and Pujol 1973) و (Buchaer and Staim, 1971) وانظر إلى الجدول (7.4). وينضج نبات الذرة متأخراً كثيراً تحت الظروف المناخية المعتدلة عندما يكون الطقس بارداً.

ولهذا السبب لا يوصى بإضافات النتروجين المتأخرة في المناطق حيث يكون النضج مشكلة. حيث أن تأخر الإمداد بالنتروجين يؤدي إلى تأخير الشيخوخة. والتغذية غير الكافية بالبوتاسيوم تشجع تعفن الجذر والسيقان (أضاف Fusarium) (Kiuqer, 1976) ويؤثر هذا على ملء الحبوب التي يمكن أن تؤدي إلى تشوه السبولة (كوز الذرة). (أنظر صورة 2.5).

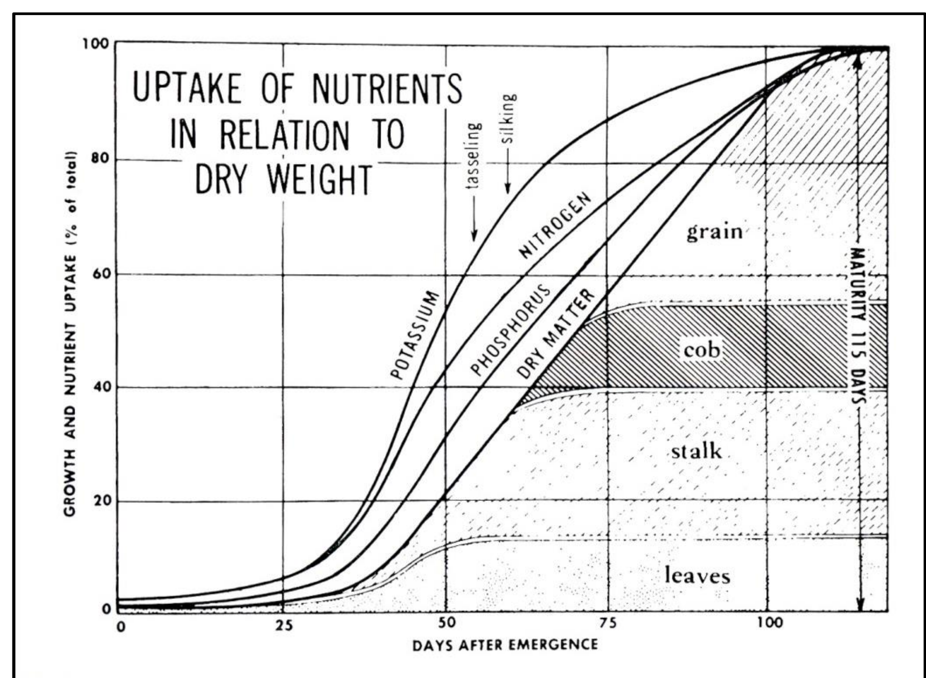


Fig.5.5 Potassium, nitrogen and phosphorus uptake and dry matter production of maize during the growing season (Iowa State University, after NELSON [1968]).



Plate 5.2 Cob deformation in maize as a consequence of inadequate K^+ nutrition (Photo: *Kali und Salz AG, Bern*)

4.1.5 المحاصيل الجذرية

إن الإنتاج الفسيولوجي للمحاصيل الجذرية يختلف عنه محاصيل الحبوب (الغلال) في عدة نقاط، والاختلاف الرئيسي بين هاتين المجموعتين هو أن المحاصيل الجذرية تتنافس بشكل واضح. على الكربوهيدرات والذي يمكن ملاحظته عادةً بين مرحلة النمو الخضري

وملء الأنسجة الخازنة، ومكونات الحاصل الإنتاجي للبطاطس، والمحاصيل الجذرية المشابهة. هي عدد النباتات لكل هكتار، وعدد الدرنات في كل نبات، وحجم الدرنة.

وتحفز الهرمونات نشوء الدرنة والسؤال المطروح والذي يتم مناقشته حديثاً من قبل Krauss, 1980. أن حامض الأبسيسيك يحفز نشوء الدرنة. بينما الجبريلين (GA) يكون له تأثير مضاد. لذا فإن نسبة ABA إلى GA هي التي تتحكم في عملية عقد الدرنة حيث أن النسبة العالية تشجعه. بينما النسبة المنخفضة تحد من نشوء الدرنة.

وإن نسبة ABA/ GA تستجيب بسرعة إلى التغذية بالنتروجين وأن استمرار التغذية بالنتروجين ينتج عنها نسبةABA / GA منخفضة نسبياً. (صورة3.a5) حيث يقف نمو الدرنة. ويتكون واحداً أو أكثر من السيقان من قمة الدرنة. وإيقاف الإمداد بالنتروجين يزيد من محتوى ABA بشكل كبير. ولذا يسبب هذا نشوء الدرنة. وهذا إن تأثير للنتروجين يكون حساساً بما فيه الكفاية لإنتاج درنات على هيئة سلسلة (صورة 5.3.c). ويمكن أن يحصل هذا عندما يقف الإمداد بالنتروجين بعد فترة إعادة النمو لاستئناف تحفيز نشوء الدرنات في المرحلة الثانية. عند التطبيق فإن المستويات العالية من النتروجين تعكس هذا الانقطاع لنمو الدرنة. ويحدث هذا غالباً في المرحلة المتأخرة من نمو الدرنة. ويسبب هذا تشوه الدرنة. وإنتاج عقد درنية (صورة5 3.b.). وقد أوضح Krauss and Marschner تأثير تحفيز للـ ABA على نشوء الدرنة عن طريق معالجة السيقان (Stolons) بالـ ABA. ومعاملة الدرنات الكلوكولين الكلوريد (CCC). معروف بأنه يثبط تصنيع GA الذي نفس تأثير ABA على نشوء التدرن.

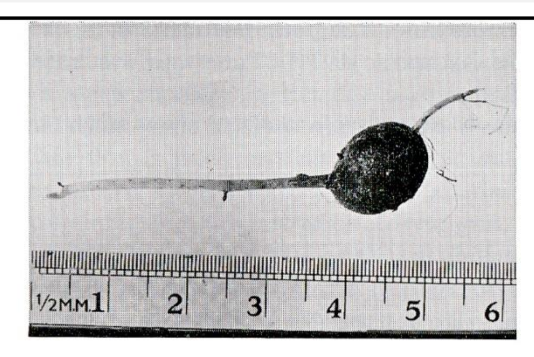
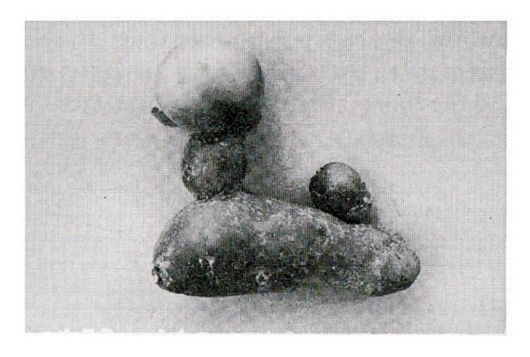
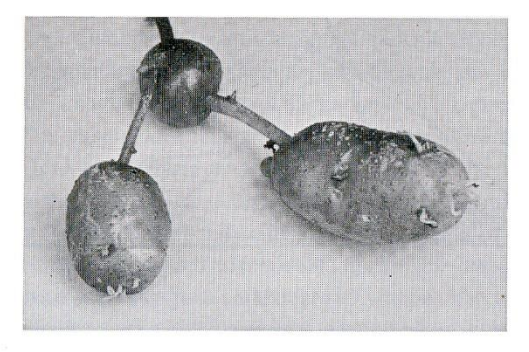


Plate 5.3 Effect of N supply on tuber formation of potatoes (Photo: KRAUSS)
a) Regrowth of tubers following abundant N supply



b) Malformations of tubers as a result of disturbances in tuber growth caused by N



c) Secondary growth after alterating N supply

إن تأثير طول النهار على عقد الدرنة. يمكن أن يوضح عن طريق نشاط الهرمونات. حيث أن الأيام الطويلة تحد من نشوء الدرنة. بينما تشجع الأيام القصيرة ذات درجات الحرارة المنخفضة ليلاً من نشوء التدرن. ويفهم من هذا أن ظروف اليوم الطويل يصاحبها ارتفاع في مستوى GA وانخفاض في مستوى ABA في النبات. بينما في الأيام الطويلة يكون العكس هو الصحيح. ونمو الدرنة له علاقة وثيقة جداً بالإمداد بالمواد الكربوهيداتية وهذا يعتمد على كثافة تمثيل CO2 في أجزاء النبات العليا و على معدّل انتقال نواتج عملية البناء الضوئي من الأوراق إلى الدرنات. إن شدة التمثيل يتوقف على مساحة الورقة لكل نبات.و مقدرتها على التثبيت CO2. و مساحة الورقة لكل نبات يعتمد مبدئياً على تطور النبات أثناء مرحلة النمو الخضري.(من الإنبات إلى التزهير). والنمو القوي من الممكن إحرازه بإضافة المغذيات وخاصةً N والماء بكميات كافية. إضافةً على الظروف المناخية الملائمة فإن كفاءة الأوراق في تحويل الطاقة الشمسية إلى ATP المطلوب لتمثيل نواتج عملية البناء الضوئي تعتمد بشكل كبير على مستويات التغذية بالبوتاسيوم والفوسفور K^+ وP. (Watanabe and Yoshide 1970). إن التأثير للتسميد بالبوتاسيوم بكميات كافية على الحاصل الإنتاجي للدرنات أوضحها (Header t al 1973) وإذا كان الحاصل الإنتاجي للدرنات مقنعاً، فإن المعدل المرتفع لتمثيل CO_2 أثناء مرحلة ملء الدرنة يكون ضرورياً، ومن ناحية أخرى لا تعتمد عملية الملء فقط على معدل تمثيل المواد الناتجة من البناء الضوئي، بل أيضاً على انتقال مواد نواتج عملية البناء الضوئي المنتجة (Header, 1975). وفي هذا السياق فإن التغذية بالنتروجين تكون مهمة للمحاصيل الجذرية بخلاف محاصيل الغلال،

وتعزيز التغذية بالنتروجين بعد التزهير يمكن أن يحفز النموات الخضرية، ويحفز تورق الأوراق الحديثة، ويمكن أن تتحول مواد نواتج عملية البناء الضوئي من ملء الأنسجة الخازنة إلى تحفيز النموات الخضرية. وهذه الحالة قد وضحت في نباتات البطاطس في جدول 5.5 التي قام بها كل من (Krayss and Marschner 1971).

Table 5.5 Growth rate of potato tubers in relation to nitrate supply (KRAUSS and MARSCHNER [1971])

Nitrate concentr. me/l	Nitrate uptake me/day	Tuber growth cm^3/day
1.5	1.18	3.24
3.5	2.10	4.06
7.0	6.04	0.44
–	–	3.89

إن معدل نمو الدرنات ينخفض بشكل كبير بمستويات التغذية العالية بالنترات (7.0 مللي مكافئ / لتر) وامتصاص النتروجين. وأثناء مراحل النمو المبكرة لتطور المحاصيل الجذرية يجب أن تجهز بالنتروجين من أجل تكوين أعضاء النبات الخضرية التي يحتاج إليها في عملية البناء الضوئي. ومن ناحية أخرى بعد التزهير فإن التسميد بالنتروجين يجب أن ينخفض للمحاصيل الجذرية. وهذه المرحلة الأخيرة (مرحلة التزهير) يجب أن تتميز بتصنيع الكربوهيدرات وانتقالها إلى الدرنات. أنظر إلى التوضيح في الشكل 6.5 الذي يوضح نمط التطور في نمو البطاطس. الورقة والساق يكون إنتاجها سائداً قبل التزهير. بعد هذا الوقت انخفاض سريع في الحاصل الإنتاجي لمادة الورقة ، وزيادة حادة في المادة الجافة للدرنات.

وبصفة عامة يبدأ نشوء الدرنات عند التزهير، ولكن في الأصناف الحديثة فإن عقد

الدرنات تحدث قبل تطور البراعم الزهرة (Bommer and Dambroth 1970) وكما أوضح

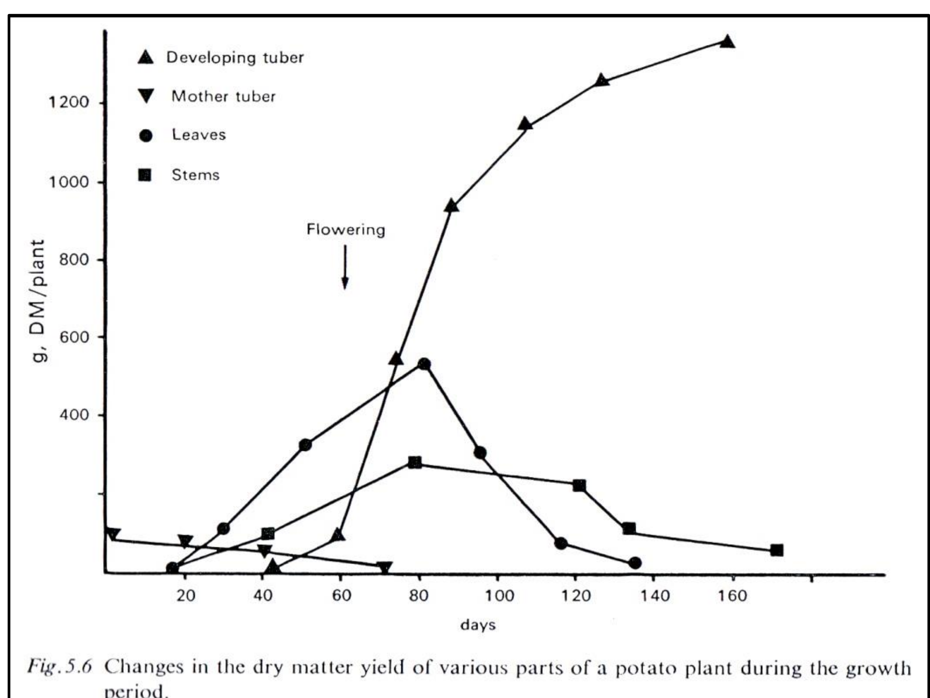


Fig. 5.6 Changes in the dry matter yield of various parts of a potato plant during the growth period.

Moorby 1968 في تجاربه باستعمال CO_2 المرقم (المعلم) بأن عقد درنات البطاطس يؤثر في معدل عملية البناء الضوئي. وبعد عقد الدرنات تكون هناك زيادة في معدل تمثيل CO_2 ومعدل انتقال الكربوهيدرات من الأوراق إلى السيقان الجارنة (Stolons) (جدول 5.6).

وهذا المثال يوضح، أن عملية البناء الضوئي لا تعتمد على الكثافة الضوئية والإمداد بالمغذيات وإتاحة CO_2 فحسب بل تعتمد أيضاً على انتقال الكربوهيدرات من مواقع إنتاجها. وإذا ما نزعت الدرنات، فإن انتقال مواد نواتج عملية البناء الضوئي تقف وينخفض

معدل تمثيل CO_2 (Burt, 1964).

المحاصيل الجذرية التي هي من عائلة البنجر، تختلف عن بطاطس في الحاصل الإنتاجي الفسيولوجي إلى حد ما، كونها محاصيل مُعمرة وتكون ساكنة بين المرحلة الخضرية وفترة الإكثار. وقبل أن تدخل هذه النباتات في مرحلة السكون الشتوي تجمع هذه الأنواع النباتية الكربوهيدرات في الأنسجة التخزينية تحت سطح التربة.

Table 5.6 CO_2-assimilation and translocation of labelled photosynthates to underground plant parts of potatoes (MOORBY [1968])

	before tuber formation	after setting
Assimilated C in % of applied CO_2	24	58
Translocated C in % of assimilated C	46	72

لذا فإن الحاصل الاقتصادي لهذه المحاصيل له علاقة وثيقة بعملية التجمع هذه، وهذه الحالة مع نبات بنجر السكر، حيث يعتمد الحاصل الاقتصادي على عدد النباتات لكل وحدة مساحة حجم الجذور ومحتواها من السكر. عدد النباتات لكل وحدة مساحة أو كثافة النباتات سوق تشرح بالتفصيل فميما بعد. حجم الجذور يعتمد إلى حد كبير على الإمداد بالمغذيات والماء أثناء مراحل النمو المبكرة للمحصول. وأن نمو الورقة الغزير أثناء هذه المرحلة مساحة ورقية كبيرة لكل نبات يكون ضرورياً للمحصول على حجم كبير للمجموع الجذري، إن فترة النمو السريعة تعطي الأوراق إمكانية تكوين المجموع الخضري Canepy فوق التربة مما يعطي فرصة أفضل للإنتاج الجيد.

وإن نمو الورقة الجيد يعتمد كثيراً جداً على مستويات التغذية العالية بالنتروجين أثناء

مراحل تطور النبات المبكرة. في مراحل نمو النبات المتأخرة تبدأ بصفة عامة في أواخر يوليو أو في بداية شهر أغسطس في مناطق وسط أوربا، ويجب تخفيض مستويات النتروجين التي تضاف إلى النبات، وإذا لم يحدث هذا، فإن نواتج عملية البناء الضوئي سوف تتحول مع عملية ملء أنسجة الجذر لنبات بنجر السكر وتستغل إلى حد كافٍ تكوين الأوراق الجديدة. وتوضح النتائج في الجدول 6.5 هذه العلاقة (Toster, 1970) في إحدى المعاملات في التجربة المحاليل الغذائية هذه، خفض تركيز النتروجين في المحلول الغذائي إلى ثلث التركيز الأصلي عن ستة أسابيع قبل الحصاد. وهذا لم يكن له تأثير كبير على الحاصل الإنتاجي للجذور، ولكن إنتاج الورقة انخفض بشكل كبير. إن انخفاض الإمداد بالنتروجين نتج عنه زيادة كبيرة في محتوى السكر في الجذور، ولهذا السبب زاد من حاصل السكر بنسبة أكثر من 30%. وتوضح هذه التجربة في المراحل الأخيرة لتطور نبات بنجر السكر، أن البناء الضوئي وانتقال نواتج عملية البناء الضوئي نحو الجذور ينبغي أن تكون هي العمليات الرئيسية وليس نمو الأوراق. ونفس المشاهدات قد وجدت في التجارب الحقلية (Bronner, 1974).

إن العلاقة بين التغذية بالنتروجين ومحتوى السكر في نبات بنجر السكر تعتمد أيضاً على نشاط الهرمونات النباتية. وقد بين (Kursanou , 1974) إن الإمداد الوفير بالنتروجين أثناء مرحلة النمو المتأخرة لنبات بنجر السكر تشجع مستوى الأوكسجين (IAA) والذي يعتقد بأنه يحفز نمو الجذر ، ويؤخر تخزين السكروز.

إن المعدلات العالية لكل من عملية تثبيت CO_2 وعملية الانتقال لها ضرورة خاصةً

لتنمية حجم كبير للمجموع الجذري. وذلك لأجل الكمية المطلوبة من السكر لعملية الملء، وهذا المثال يوضح لماذا النباتات المسمدة بالبوتاسيوم يكون الإنتاج الجذري فيها مرتفعاً ومصحوباً أحياناً بمحتوى منخفض من السكر. وقد يكن محتواها من السكر مرتفعاً في الغالب (Droycott et al. 1970).

يختلف محصول نبات قصب السكر عن نبات بنجر السكر، وعلى الرغم من ذلك فهنا تشابه في نمط تكون الحاصلات الاقتصادية ففي قصب السكر كما في بنجر السكر يجب أن تكون الأسابيع الأخيرة مثل عملية الحصاد تفه ببناء وتخزين السكر وليس بنمو الأوراق. وإن تأثير المغذيات النباتية وخاصة النتروجين N والبوتاسيوم K على هذه العمليات يشبه تأثيرها في بنجر السكر.

Table 5.7 Effect of lowering the N supply in the late stage of growth on the yield and sugar contents of sugar beet (FORSTER [1970])

	Roots g/Plant	Leaves g/Plant	Sugar %	Sugar yield g/Plant
Full N	957	426	16.4	93
⅓ N	955	360	19.0	125

5.1.5 محاصيل الفاكهة

الحاصل الإنتاجي للنباتات المعمرة مثل العنب وأشجار الفاكهة هي أيضاً تتصف بفترة ملء مائي تبدأ بعد التزهير. وفي العنب بين Kobler, 1969 بأن وضع الورقة مهم في عملية الملء. وعند بداية عقد الثمار، تكون الأوراق المجاورة مباشرة للثمار ذات أهمية رئيسي

لمساهمتها في نمو الثمار. كلمات تطورت الثمار تكونت أوراق أكثر، أعلى عنقود العنب التي تزود بالمواد الناتجة من عملية البناء الضوئي لملء الثمار، وإن حبات العنب ومحتواها من السكر يكون أعلى كلما كانت المادة الورقية متاحة أكثر لتزويد عناقيد العنب. ولهذا فإن مساحة الورقة الكبيرة تكون مهمة في إنتاج العنب. ففي مراحل تطور الثمار المبكرة، يبدو أنها مهمة في زيادة محتوى السكر. تعتمد عملية الملء أيضاً على كفاءة عملية البناء الضوئي للأوراق، التي لا تتحكم فيها الكثافة الضوئية ودرجة الحرارة فقط بل تتحكم فيها أيضاً التغذية المعدنية. ومن أجل إبقاء الأوراق على حالتها الخضراء لفترة طويلة ولزيادة نشاطها في عملية البناء الضوئي فإنه غالباً يجري تسميد للعنب بكميات إضافية بالنتروجين بعد عملية التزهير. وأن السكروز مع كميات بسيطة من الفركتوز والجلوكوز والأحماض العضوية هي من أهم نواتج عملية البناء الضوئي التي تنتقل من الأوراق إلى عناقيد العنب وسيادة تصنيع السكر أو الأحماض العضوية يعتمد بوضوح على درجة الحرارة. وطبقاً لأبحاث Kliewer, 1964 مع Vitis Vinifera أن تصنيع الأحماض العضوية يتحفز بدرجات الحرارة المنخفضة، بينما يُصنع السكر بكميات كبيرة تحت الظروف الدافئة، وربما يفسر هذا بصورة جزئية سبب وجود تأثير معنوي لدرجة الحرارة على مذاق ونوعية الخمر.

إن أسس تطوير بعض محاصيل الثمار الأخرى مثل التفاح والكمثرى والخوخ تكون مشابهة كما شرح أعلاه بالنسبة للعنب. إن العامل الرئيسي في إنتاج الثمار هو كمية الثمار لكل شجرة أو نبات. وبدون شك فإن عقد الثمرة له علاقة بنشاط الهرمونات النباتية ومن محتمل أيضاً أن له علاقة غير مباشرة بالتغذية كثيراً. وهذه المشكلة ذات أهمية خاصة في

محاصيل الثمار نباتات المعمرة، والتي تعطي الثمار فقط كل ثاني موسم. وتسمى هذه الظاهرة (بالتناوب أو التبادل)، وتلاحظ في الغالب في أشجار التفاح. وقد بين (Waller, 1971) أن في السنوات ذات الحاصل الإنتاجي القليل تكون جذور أشجار التفاح كثيرة في أواخر الصيف وفي بداية موسم الخريف. وقد لوحظ تحسن في عقد الثمار في هذه الأشجار في السنة اللاحقة. والعلاقات بين تطور ونمو الجذور وتصنيع الهرمونات النباتية وعقد الأزهار تبدو أنها غير واضحة. وإذا ما كانت المغذيات النباتية مشتركة في هذه العلاقات فإن هذا يبدو غير واضح تماماً.

إن تطور ثمار الطماطم له أوجه مقارنة مع نمو العنب، حيث أن الأوراق تقع قرب الثمار وتكون المصدر الرئيسي الذي يزود بالمواد الناتجة من عملية البناء الضوئي في ملء الثمار (Khan and Sagar 1967) عملية ملء الثمار وأيضاً عدد الثمار لكل نبات تعتمد على الحالة الغذائية للنبات (Foster, 1973).

مزارع المحاصيل مثل أشجار جوز الهند وزيت النخيل والمطاط والكاكاو والموز والأناناس لا ترتبط بصورة كبيرة بفصول السنة. إن نموها وإنتاجها يعتمدان بشكل كبير على الإمداد الوافر من المغذيات. قد بين (Fermond and Ouvirer 1971) أن بداية تكوين الثمار لأشجار جوز الهند تكون مبكرة شريطة أن تزود النباتات الحديثة بكميات وفيرة من المغذيات.

6.1.5 منظمات النمو

استخدمت منظمات النمو في الزراعة في السنوات الأخيرة بكميات متزايدة وهذه

المركبات كيميائية وليست مركبات نباتية طبيعية، إلا أنها قد تؤثر عكس تأثير الهرمونات النباتية وجدول 8.5 يبين بعض الأمثلة لسلوك التفادي والتشخيص والمثبط لهذه المواد المشجعة للنمو على نشاط الهرمونات النباتية.

Table 5.8 Synergists, antagonists and inhibitors of phytohormones

Phyto-hormones	Analogous substances	Synergists	Antagonists & Inhibitors
Auxins	Arylalkane carboxylic acids Aryloxyalkane carboxylic acids Derivates of benzoic acid	Monophenols Brassins	Coumarins 2,3,5-Triiodobenzoic acid (TIBA) Naphthylphthalamic acid Chlorflurenol
Gibberellins	Cyclic adenosine monophosphate	Catecholamines	Onium compounds – quaternary N compounds – Sulphonium & Phosphonium derivatives Pyrimidine derivatives Succinic acid-N-dimethylhydrazide
Cytokinins	Benzyladenine Furfuryladenine	–	Pyrrolo- & Pyrazolo pyrimidines
Abscisic acid	Xanthoxin Phaseic acid	Farnesol	Fusicoccin
Ethylene	1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid 2-chloroethyl-phosphonic acid	Auxins Glyoxime	Aminoethoxyvinylglycine

إن الهدف من إضافة منظمات النمو هو غالباً لتأثيرها على النمو، حيث تتحكم في طول الساق إلى الجذر، ولكن تأثيرها يتركز أيضاً على الإزهار وعلى تكوين الثمار. وأكثر منظمات النمو استعمالاً على نطاق واسع هي المشتقة من الكولين (choline)، كلوريد

الكولين (chlorocholine)، (= C C C) وتعرف تجاريا باسم سيكوسيل (cycocel) وقد وجد Tolbert (1960) أن هذه المادة الكيميائية تخفف من نمو بتول نبات القمح. Linser et al (1961) هو أول من وضع CCC موضع الاستعمال وإضافتها لمحاصيل الغلال.

$$[ClCH_2 - CH_2 - N^+(CH_3)_3]\ Cl$$
Chlorocholine chloride (=CCC)

وطبقاً لـ Wittwer and Tolbert 1960 فإن الكلوريد الكلوريني يعوق عملية تصنيع الجريلينات الذي ينتج عن قصر الساق culm والمسافات بين العقد بصورة خاصة تكون أقصر (primosi and rittmeyr 1969) وقصر الساق المعامل عادةً بـ CCC يكون أكثر سمكاً، ويزداد عدد الحزم الوعائية، وتكون الجذر الخلوية أكثر تطوراً، وتتحسن مرونة الساق (Koch, 1968) جدول 5.9 بين تأثير المعاملة بـ CCC ثلاث مراحل نمو مختلفة على طول الساق وعلى إنتاجية القمح الربيعي النامي في تجربة أصيص Linser and Kuhen (1963).

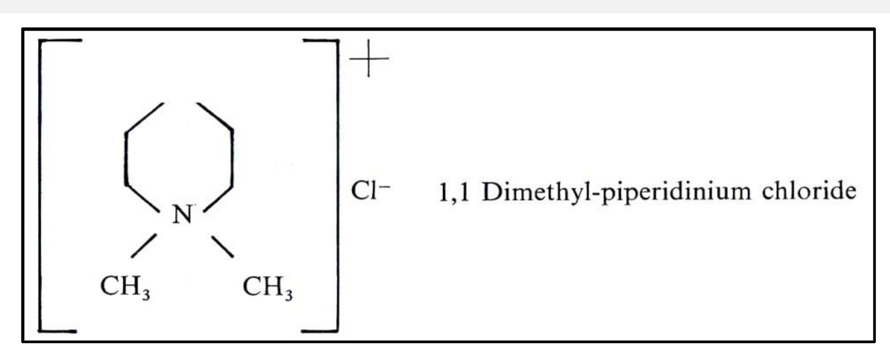
إن إضافة CCC في كل المراحل الثلاث نتج عنها قصر طول القش بحوالي 24% وتحسن إنتاج الحبوب ونمو المجموع الجذري بينما انخفض إنتاج القش. وممن ناحية أخرى فمن الطبيعي أن إضافة الـ CCC لا تزيد من الحاصل الإنتاجي مباشرة. حيث ينتج عنه قصر طول القش، الزيادة الكبيرة في مقاومة المحصول للرقاد كما شوهد في العديد من التجارب الحقلية ((Bachthaler (1967) أن القمح الربيعي خصوصاً القمح الشتوي، استجابا إلى

المعاملة بمادة CCC بينما إضافة هذا المركب الكيميائي على بعض محاصيل الغلال الأخرى مثل الشوفان لا تؤدي غالباً إلى تحسين في مقاومة الرقاد. وفي التطبيقات الزراعية يُرش الـ CCC على محصول القمح في المرحلة التي بين التفرع وطرد السنابل، وعندما يكون طول النبات حوالي 10 – 20 سم. ونتيجة لاستعمال الـ CCC فإن مستويات إضافة N إلى القمح زادت في وسط أوروبا. والآن تعطى حوالي 120 – 160 كجم / هكتار على شكل إضافات منفصلة.

Table 5.9 Effect of a CCC application at different stages of cultivation on the yield and culm length of spring wheat (data according to LINSER and KÜHN [1963])

CCC-Treatment	Grain yield	Straw yield in g DM/pot	Root yield	Mean length of culms in cm
Without	33.7	53.1	9.0	88.9
Before sowing	34.4	54.0	10.6	70.9
At tillering	35.2	49.4	10.6	67.4
Onset of stem elongation	35.9	49.3	10.2	68.0

وبالإضافة إلى مشتقات الكولين، قد تبين أن ملح dimernyl-hexarydopy aidazium أو ملح dimernyl-piperidiniamأو أملاح Thianiam لها خواص منظمات النمو (Zean etal 1974) عموماً فإن لهذه المركبات كاتيوناً عضوياً وهو الجزء النشط في الجزيء و يستعمل الآن dimethyl-piperidiniam chroide أو في عملية نمو القطن و يعرف هذا المنظم باسم (pix) الذي يقلل من إنتاج الاثيلين ولذا يمنع من سقوط الأزهار واللوز القطن.



ويعرف مخلوط dimethyl – piperidiniem chloride أو مع حامض 2 chloroethyl phosphonic - تجارياً باسم Terhall chloride "تربال"و عرض هذا المنظم للنمو حديثاً في ألمانيا. و الذي أضيف إلى محاصيل الشعير والشيلم وقلل من خطورة الرقاد بوساطة تحديده لاستطالة الساق.

$Cl - CH_2 - CH_2 - P(OH)_2 = O$	2-chloroethyl phosphonic acid (=ethrel)

و قد أوضح KUHN etal 1977 أن إضافة مخلوط chlorocholine chloride وحامض 2 chloroethyl phosphonic- تمكنت من تقليل طول الساق نبات الشيلم الشتوي بكل معنوي. و منع من رقاد المحصول. وإن إضافة حامض 2 chloroethyl-phosphonic acid والذي يعرف باسم أيثرل (ethrel) قد استعمل في إنتاج المطاط (Ribaillier and Auzae 1970) حيث يؤخر تكوين كلس الجرح (Wound Calls) ويزيد من فترة التدفق Leter flow. و أيثرل "ethrel" مثل كلوريد الكالوين يعمل على إيقاف

تصنيع الجربلينينات (sadeghian and Kuhn 1976).

ومن منظمات النمو الأخرى، نجد الأنسومايدول (ancymidol) الذي يضاف مع CCC يكون مخلوطاً فعالاً في التقليل من طول الساق لنبات الشعير الشتوي (Kuhn et al 1978) وكانت تأشيرة هذا طول الساق، فإن إضافته ينتج عنها إطالة فترة الإكثار (الإنتاج) وزيادة عدد السنابل لكل وحدة مساحة وعدد الحبات في كل سنبلة. إلا أنه قلل من وزن الحبة (Bruckner et al 1978).

Ancymidol

وصف Jung et al. 1980 حديثاً التأثير المنظمات النمو لكل من ترازولين (Triazoline) وأزار داين (aziridine) المشتقة من norbornenodiazitine وهذه المركبات تحفز نمو الجذر على حساب نمو الساق، وهذان المركبان لهما فعالية في التربة والبذور المعاملة. وطبقاً لـ Oltlrogge, 1977 فإن بعض مبيدات الحشائش تعمل جزئياً كمنظمات للنمو أيضاً بجانب تأثيرها المبيد للحشائش.

2.5 التغذية واستجابة الإنتاج

1.2.5 نظرة عامة

منذ أن أجرى J.B. Van Helmont تجربته المشهورة قبل أكثر من 300 سنة مضت، عرف أن التربة تساهم بقدر صغير جداً في وزن المادة الصنعة بوساطة النباتات وقد زرع Van Helmont نبات الصفصاف في أصيص، وبعد فترة النمو، التي استغرقت 5 سنوات وجد أن وزن التربة في الأصيص قد تغير قليلاً، بينما أزداد وزن نبات الصفصاف بحوالي 160 باونداً وبذلك أقترح Van Helmont أن إنتاج الخشب واللحاء والأوراق يكون نتيجة الماء الممتص من التربة. ونحن نعرف الآن أن الماء وثاني أكسيد الكربون CO_2 والمغذيات المعدنية أيضاً تحد من إنتاج المادة النباتية. أن عملية تمثيل ثاني أكسيد الكربون هي بالفعل العملية الأولية التي تتضمنها عملية تكوين الإنتاج. ولهذا السبب فإن معدل تمثيل CO_2 والعوامل التي تؤثر فيه تكون ذات أهمية كبيرة.

إن المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي تستعمل في النمو الخضري، وفي تصنيع المواد المخزونة وفي التنفس. والجزء من هذه المواد الذي يتجه إلى المخازن (المستقبلات) الثلاث يعتمد على العمر الفسيولوجي للنبات (Warren - Wilson, 1969). وفي البادرات الحديثة يسود النمو التركيبي (البنائي)، ولذلك أكثر من نصف المواد المتمثلة من عملية البناء الضوئي تستعمل في النمو. ومن ناحية أخرى ففي النباتات الناضجة فإن الجزء الرئيسي للمواد الناتجة من عملية البناء الضوئي تستعمل في تصنيع المواد الخازنة (جدول 5.10) وأثناء فترة ملء حبوب القمح فإن حوالي 80 % من المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي تنتقل

إلى الحبوب وتستعمل في التحول من الغذائي لتصنيع العديد من المركبات العضوية. وتستعمل المواد الباقية في عملية التنفس Evans and Kawon, 1970.

Table 5.10 Rates of utilization of photosynthates by three types of sinks at three stages of development (WARREN-WILSON [1969])

	mg photosynthates/g DM/day		
	Structural growth	Storage	Respiration
Germinating seedling	20	5*	10
Young vegetative plant	15	5	8
Mature plant with storage organ	5	10	4

* Assumes that seed reserves are not part of embryo, otherwise a negative value arise here

وهذا صحيح أيضاً مع نباتات أخرى، وعلى سبيل المثال فإن ثمار الطماطم يستهلك حوالي 30 % من المواد الناتجة من عملية البناء الضوئي التي يستقبلها (Haeder and Mengel 1972) كذلك فقد وجد Alberda,1977 نفس القيم (30 – 40 %) مع عشبة الراي.

2.2.5 محصلة معدّل التمثيل ودليل مساحة الورقة

يثبت المحصول النامي ثاني أكسيد الكربون CO_2 باستمرار بوساطة عملية البناء الضوئي ويتحرر بوساطة التنفس، إن صافي (محصلة) كمية الكربون التي يتم تمثيلها تقاس بوساطة فائض الكربون (C) المكتسب من عملية البناء الضوئي إلى الكربون المفقود بوساطة عملية التنفس. ويرمز لمحصلة معدّل التمثيل (NAR) الذي يستعمل في الغالب للتعبير عن المعدل الذي عنده تتراكم المادة الجافة ويعرف صافي (المحصلة) التمثيل لكل وحدة مساحة

ورقة.

في عملية التنفس فإن النباتات تأخذ جزئ الأوكسجين (O_2)، وتؤكسد نواتج عملية التمثيل إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2 والماء. إن التنفس في الظلام أو في الميتاكوندريا عملية الأكسدة يصاحبها تكوين ATP. ومن ناحية أخرى، فإن بعض خلايا النبات الخضراء، تكون لها القدرة أيضاً على القيام بالتنفس المستحث بالضوء (عملية التنفس الضوئي)، ولكن لا يتكون ATP في هذه العملية (أنظر 5.2.3). وأن عملية التنفس الضوئي تكون غائبة في محاصيل C4 (مثل الذرة وقصب السكر)، وهذا الاختلاف مهم حيث يعني وجود اختلاف بين نباتات C3و C4 في نقطة التبادل (أي أن تركيز ثاني أكسيد الكربون CO_2 عند سطح الورقة التي عندها تكون عملية تمثيل أكسيد الكربون (تثبيت CO_2) متساوية مع انطلاق CO_2. عن نقطة التعادل (التبادل) للنباتات C4 تكون في معدّل 0−10 جزء من المليون من CO_2، بينما أقل من جزء من مليون من CO_2 (Krenzer et al 1975). حيث تكون نباتات C4 قادرة على عرض معدل إيجابي للتمثيل عند المستويات المنخفضة من ثاني أكسيد الكربون عند سطح الورقة. وهذه العلاقة الفسيولوجية هي أحد أهم الأسباب الرئيسية المتعلقة بالأعشاب الاستوائية التي تستطيع أن تنمو بمعدلات كبيرة تحت شدة الإضاءة العالية، وظروف درجة الحرارة العالية.

إن معدّلات كل من تمثيل CO_2 والتنفس تزداد بزيادة درجة الحرارة، والعلاقة بين معدل تمثيل CO_2 ودرجة الحرارة متميزة بمنحنى (Asymbtotic curve). بينما العلاقة بين معدل التنفس ودرجة الحرارة تكون Hyperbolic (الشكل 7.5)، ولهذا فإن نقطة درجة

الحرارة تحدث عندما يكون التمثيل مساوياً للتنفس (الميتاكوندريا والتنفس الضوئي). وعند هذه الدرجة من الحرارة يكون صافي (محصلة) التمثيل صفراً، ولا يوجد أي صافي (محصلة) للنمو. وبما أن التنفس الضوئي يكون غالباً بالفعل في نباتات C4، فإن درجة الحرارة التي عندها يكون تمثيل CO_2 وانطلاق CO_2 متساوية في هذه الأنواع فهي أعلى منها في نباتات C3، وهذا يعني أن نباتات C4 قدرتها أعلى من نباتات C3 في النمو عند درجات حرارة أكثر ارتفاعاً. وهذه الحالة ذات أهمية كبيرة جداً تحت الظروف الاستوائية. وأن درجات الحرارة التي تكون عندها محصلة للنوع الواحد. ولذا فقد بين (Eagles, 1967) أن المعدل الأعلى لصافي (محصلة) التمثيل لصنف عشبة الراي (Lolium perenne) التي أصلها من الدانمارك كانت في مدى درجة حرارة المعتدلة بين 10–15مْ، بينما الصنف الذي أصله من الجزائر كانت عند درجة حرارة 20مْ.

إذا كانت كثافة النباتات للمحصول عالية، فإنها تؤدي إلى حدوث منافسة مشتركة على الماء وعلى المغذيات وعلى الضوء. وقد تحدث أيضاً بعض التأثيرات الثانوية التي تحفزها عملية المنافسة. وعلى سبيل المثال فإن التظليل المشترك Matuol Shading الناتج من الكثافة النباتية العالية، ربما تزيد من قابلية إصابة المحصول بالأمراض الفطرية، والرقاد. وفي الحقول ذات الكثافة النباتية العالية تكون المنافسة على الضوء هي العامل المحدد للنمو شريطة أن الماء والعناصر الغذائية تكون موجودة بكميات كافية، كما هو في أغلب الترب الخصبة. وتحت مثل هذه الظروف ينخفض معدل البناء الضوئي في الأوراق الواقعة في الظل، بينما يزداد معدل التنفس فكلما ازدادت كثافة المحصول، وأتسع التظليل المشترك، فإن معدل صافي

(محصلة) التمثيل (NAR) ينخفض.

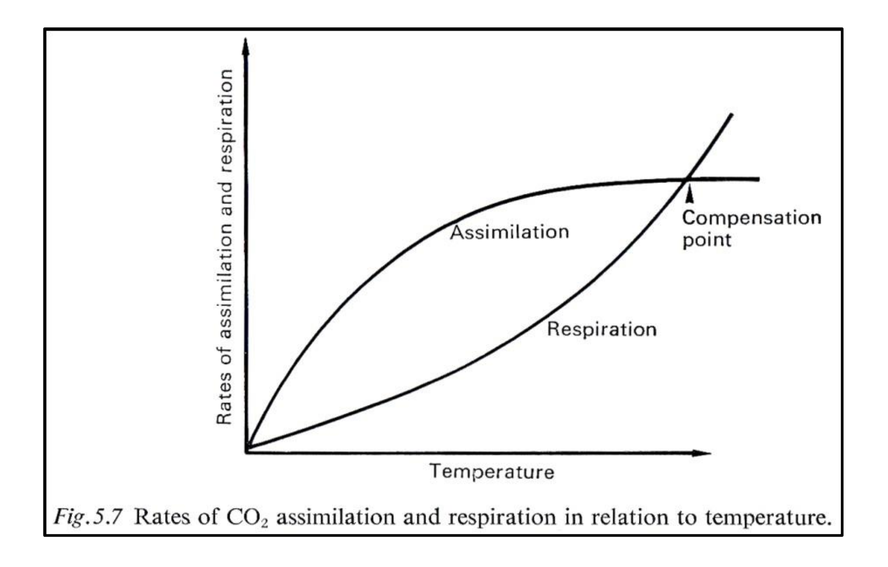


Fig.5.7 Rates of CO_2 assimilation and respiration in relation to temperature.

بصفة عامة فإن كثافة عدد نباتات أي محصول يعبر عنها بمعامل مساحة الورقة (Leaf area index). والذي يعبر عنه بمساحة الورقة للمحصول لكل وحدة مساحة التربة، التي ينمو فيها المحصول (Waston, 1952) وإذا كان الـ LAI. هو أربعة لأحد المحاصيل المعينة، فهذا يعني أن النباتات النامية في مساحة من التربة قدرها1م^2 تكون مساحة ورقية 4م^2. القيم المثلى لـLAI تختلف باختلاف المحاصيل، وبعض قيم دليل (معامل) مساحة الورقة LAI لبعض المحاصيل موجودة في الجدول 11.5 لمحاصيل الحبوب التي قيمتها بين 6 – 8.8 اعتيادياً يوصى بها في الغالب. نباتات بنجر السكر يحتاج إلى 3.2 – 3.7 من LAI عندما ينمو النبات تحت ظروف الإضاءة لوسط أوربا (Birke, 1960)، ولكن عندما تكون شدة الإضاءة أعلى كما هو الحاصل في جنوب أوروبا، فإن القيم المثلى لل LAI لنبات بنجر

السكر تكون في مدى 6 تقريباً (Stanacev, 1967) وهذا المثال يبين أن قيم LAI العالية تكون مقبولة، إذا تحسنت الكثافة الضوئية.

Table 5.11 Optimum LAI-values of various crops

Crop	LAI
Soyabeans	3.2
Maize	5.0
Sugar beet	3.2–6.0
Wheat	6.0–8.8
Rice (new varieties)	7
Rice (local varieties)	4

وإن نوعية المحصول أيضاً تكون ذات أهمية كبيرة. وهذه الحالة حقيقة في الأرز الموضحة في جدول 5.11 حيث أناف الأرز الحديثة تتميز بسيقان قصيرة وأوراق صغيرة القائمة (المنتصبة). وهذه الأصناف تقلل من التظليل المشترك، وبذلك تسمح للاستقبال وامتصاص أحسن للضوء (Tanaka, 1972).

والنظرة في أن التظليل المشترك ينتج عنه تحفيز للتنفس قد وضعت تحت التساؤل من قبل (Evans, 1975) والذي أقترح أن الأوراق القديمة تتنفس بمعدل منخفض، وأنها تموت إذا ازدادت كمية CO_2 المفقودة عن CO_2 المتمثلة ضوئياً. وهذا يعني أن التظليل المشترك لا يلعب دوراً رئيسياً في فقدان CO_2 بعملية التنفس في الأوراق القديمة. وأن تغذية المحصول تكون أيضاً مهمة لعلاقتها مع LAI. وعندما تكون LAI مثلى فإن التغذية المفرطة بالنتروجين تحفز نمو الورقة، وأن إنتاجية الحبوب لمحصول الأرز تنخفض بسبب التظليل المشترك العالي (Tanaka, 1973). وأن مستويات التغذية العالية بالفوسفور والبوتاسيوم لا

تستطيع أن تعوض عن هذا التأثير السلبي للنتروجين. وهذه العلاقة بين دليل مساحة الورقة (L A I) وإنتاجية المحصول للذرة موضحة في الشكل 85. (Duncan, 1975)

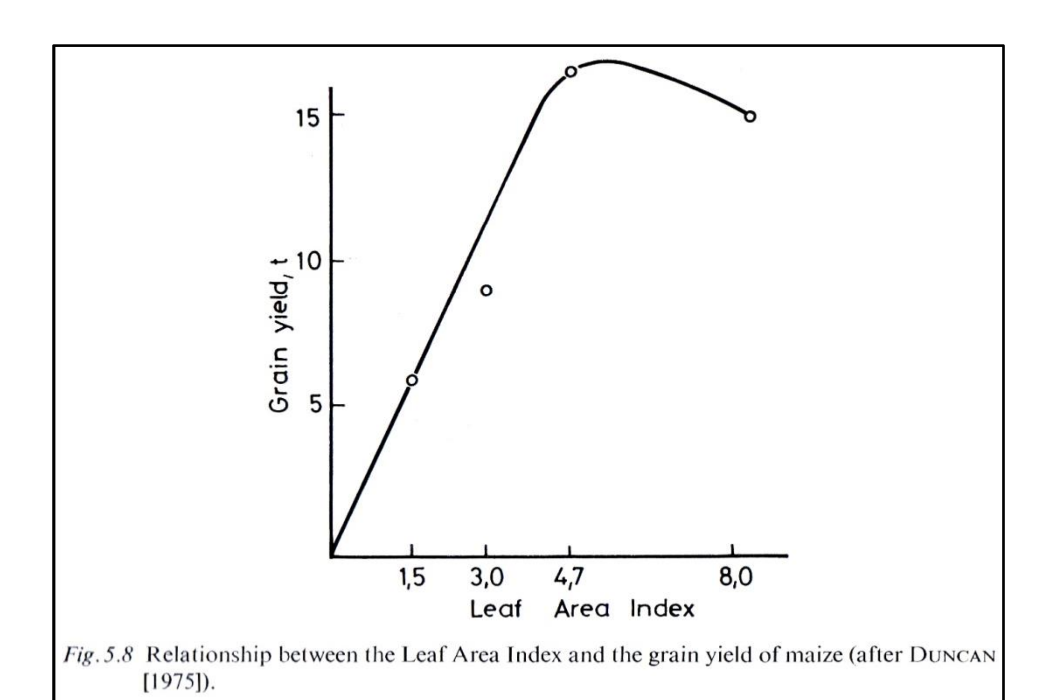


Fig. 5.8 Relationship between the Leaf Area Index and the grain yield of maize (after DUNCAN [1975]).

3.2.5 تمثيل CO_2 وتركيز CO_2 بعلاقتهم مع شدة الضوء

من الواضح بأن تركيز CO_2 الجوي يكون له تأثير رئيسي على معدل تمثيل CO_2 ، وأيضاً على تكوين الحاصل الإنتاجي. حيث بين Yoshida 1972 أن التركيز الطبيعي لـ CO_2 يكون 300 جزء من مليون، حيث أحرز على حاصل إنتاجي عالٍ للأرز 10 أطنان حبوب / لهكتار، ولكن بارتفاع تركيز CO_2 إلى 2400 جزء من مليون فإن الحاصل الإنتاجي كان حوالي 19 طناً/هكتار. وهذا المثال يوضح أن الزراعة الكثيفة تحت الظروف الحقلية،

وتركيز CO_2 في الغلاف الجوي كان العامل المحدد للحاصل الإنتاجي. وبصفة عامة فإن إضافة CO_2 إلى المحاصيل كوسيلة لزيادة إنتاج المحاصيل، وهي طريقة مكلفة جداً وغير عملية.وتحت ظروف البيوت الزجاجية فقط تكون إضافة CO_2 إلى محاصيل ذات أهمية تطبيقية.

لقد حصل (Pennings feld, 1954) على أعلى إنتاج لنبات Sinapis alba والخيار النامية تحت البيوت الزجاجية المزودة بثاني أكسيد الكربون CO_2 بتركيز 30.000 جزء من مليون. وتركيز أعلى من 50.000 جزء من مليون يكون تأثيرها سام. وبصفة عامة أن تركيز CO_2 في الغلاف الجوي يكون 300 جزء من مليون، إلا أن هذا التركيز قد يختلف في المحصول النباتي نتيجة عملية تمثيل والتنفس، وقد وجد (1968) Hang-Chicha في محصول قصب السكر على سبيل المثال أن القيم المنخفضة عن 300 جزء من مليون أثناء النهار ولكن تكون مرتفعة عن 440 جزءاً من مليون أثناء الليل.

الشكل 9.5 يبين تأثير زيادة تركيز CO_2 في معدل تمثيل CO_2 (جم CO_2 لكل م^2 مساحة ورقة لكل ثانية) في Trifolium pratenase النامية تحت شدة الإضاءة المختلفة. تحت ظروف الإضاءة الرديئة (50 جول / م^2 / ثانية) فإن معدل تمثيل CO_2 قد زاد بشكل بسيط بزيادة تركيز CO_2. ويمكن رؤية هذا بوضوح من التخطيط ذي الأبعاد الثلاثة، حيث أن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون عند ذي الشدة الضوئية العالية تؤدي إلى زيادة معدل تمثيل CO_2 بشكل كبير (Warren- Wikson 1969). وهذه العلاقة موضحة في شكل 9.5

وهو أحسن مثال لتداخل عاملين، في هذا المثال فإن العاملين، عامل تركيز CO_2

وعامل الشدة الضوئية يتداخلان ليؤثرا على معدل تمثيل CO_2 بشكل إيجابي. ومن هذا المثال أثبت أن زيادة أحد هذين العاملين سوف يكون لها تأثير هام تربطه أن تكون الكمية والشدة العامل الأخر متاحة وملائمة. وهذه العلاقة العامة لا تنطبق على شدة الإضاءة وتركيز CO_2 فقط بل أيضاً على عوامل أخرى لها تأثير على النمو، مثل نظام رطوبة التربة، ومستوى التغذية بالنتروجين، أو معدل الإمداد بالعناصر الغذائية الأخرى. إن شدة الإضاءة عند مستوى التمثيل CO_2 الحاصل، يسمى بالتشبع الضوئي، الذي يعتمد على عمر النبات، وقد وجد (Alberda, 1977) أن التشبع الضوئي لمدة سبعة أسابيع لنبات عشبة الراي القديمة (Lolium perenne) حصلت عند شدة الإضاءة المنخفضة مقارنة بالتشبع الضوئي لمدة ثلاثة أسابيع لنبات عشبة الراي القديمة.

إن التأثير التشجيعي لزيادة شدة الإضاءة، أو تركيز CO_2 أو كليهما معاً على استيعاب أو تمثيل CO_2 قد لوحظ من قبل عدد من الباحثين (Römer, 1971, Larcher 1963) وتجارب كل من Brum and Cooper 1967 على نبات فول الصويا حيث وجدا أنه عندما يكون تركيز CO_2 في الغلاف الجوي طبيعياً (300 جزء من مليون) فإن تمثيل CO_2 يتوقف عند كثافة ضوئية تقارب من 100 جول / م^2 / ثانية.

إن شدة الإضاءة العالية حوالي 300 جول / م^2 / ث إلى 400 جول / م^2 / ث لنبات الأرز ربما تعتبر المثلى (Yoshida, 1972). إن القصد من فكرة شدة الإضاءة وقيمها يمكن إدراكها من القيم الطبيعية التي توجد في أوربا الوسطى. إن شدة الإضاءة العالية تصل في اليوم المشمس إلى 300 جول / م^2 / ث عند فترة الظهيرة في فصل الصيف، وتحت

الظروف الجوية القائمة تكون شدة الإضاءة 80 جول / م^2 / ثانية.

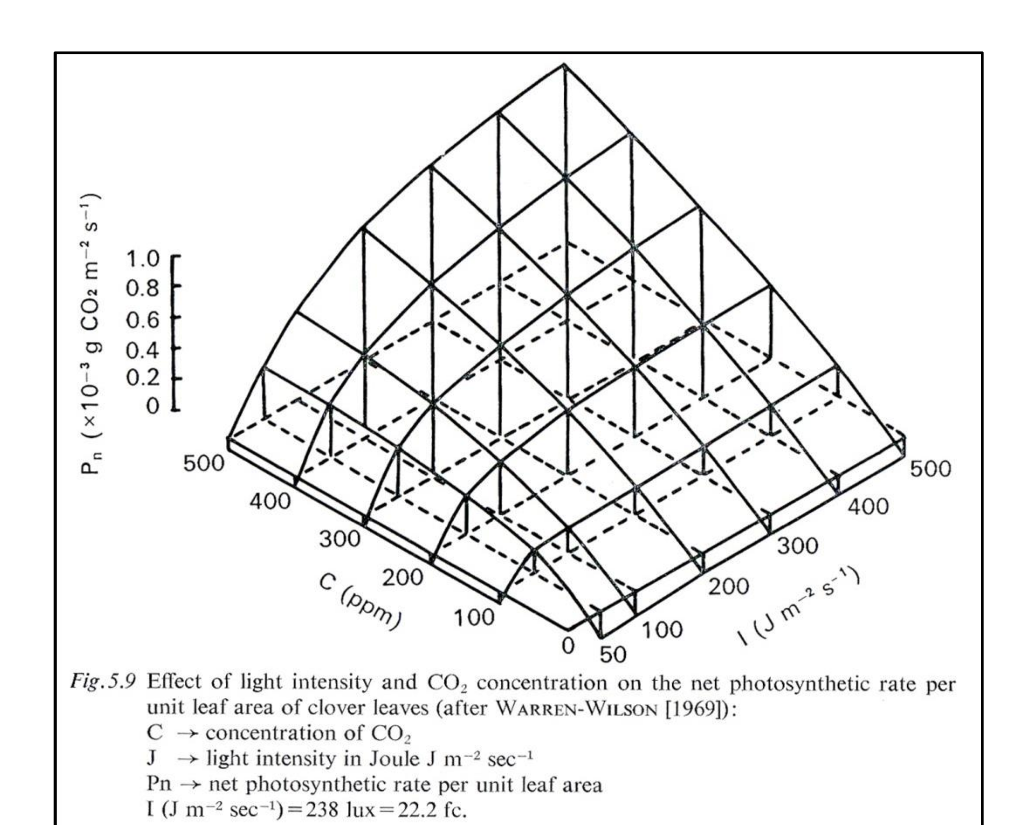


Fig.5.9 Effect of light intensity and CO_2 concentration on the net photosynthetic rate per unit leaf area of clover leaves (after WARREN-WILSON [1969]):
C → concentration of CO_2
J → light intensity in Joule J m^{-2} sec^{-1}
Pn → net photosynthetic rate per unit leaf area
I (J m^{-2} sec^{-1}) = 238 lux = 22.2 fc.

إن درجة استهلاك أو استعمال الطاقة الإشعاعية من قبل النباتات تكون منخفضة حيث بين (Loomis et al, 1971) أن تحت الظروف المثلى تكون الفعالية أو الكفاءة القصوى لاستعمال الطاقة الإشعاعية لإنتاج المحصول، تكون تقريباً 5 % والباقي 95 % تتحول إلى حرارة إن "الطاقة المتاحة" للمحاصيل الحولية تكون أيضاً منخفضة عن 5 % نتيجة أن المحصول يحتاج لفترة زمنية كبيرة للنمو، ولوصول الأوراق إلى أقصى تمدد لها، وتهرم

الأوراق ربما يحصل أيضاً قبل نهاية موسم النمو وطبقاً لما جاء به (Holliday, 1976) فإن في النظام الزراعي المتقدم للزراعة المكثفة نباتات من نوع C3 تستهلك أو تستعمل 2.7 % من الطاقة الإشعاعية المتاحة في إنتاج المادة النباتية الجافة، أما للنباتات من نوع C4 فإنها تستهلك حوالي 4 %. ولقد قارن Gibben et al 1970 النمو وتحول الطاقة الشمسية لنبات الذرة تحت ظروف إشعاعية مختلفة في انجلترا وإيطاليا، جدول 9.5 ليس فقط بأن يكون الحاصل الإنتاجي أكبر في الظروف المناخية ذات الأشعة العالية، بل كانت الكفاءة تحول طاقة أكبر. ونسبة تحول الطاقة تتفق مع النتائج التي تحصل عليها Hall, 1977 الذي استشهد بأن هناك 0.5 – 1 % استهلاك للمحاصيل في المناطق المعتدلة ذات 2 % استهلاك للمحاصيل في المناطق الاستوائية.

Table 5.12 Yield and energy conversion efficiency of maize (INRA 200) at four different sites (Gibbon *et al.* [1970])

	1	2	3	4
Aerial plant parts (tonnes/ha)	8.7	11.9	24.8	25.7
% of total radiation energy utilized	0.73	0.95	1.75	1.33

Locations: 1 Leeds University Farm (UK)
2 Cawood Exp. Station (UK)
3 Turin (Italy)
4 Rome (Italy)

4.2.5 منحنيات الإنتاج (الحاصل الإنتاجي)

لقد وُضِّح آنفاً بأن تحسين الظروف للنمو بوساطة تعديل العامل المحدد لنمو واحد لا يكون له أي تأثير إذا كانت العوامل الأخرى هي المحددة للنمو. وتعرف هذه العلاقة

بقانون الحد الأدنى "Law of the minimum" التي وجدت من قبل Sprengel في بداية القرن التاسع عشر. وأهمية هذا القانون قد ثبتت تطبيقياً من قبل Justus Vanliebig. ولا زال مهماً في إنتاج المحاصيل معرفة العامل المحدد للنمو تحت ظروف نمو معينة؛ وتقليل من العوامل المحددة للنمو تؤدي إلى زيادة في الحاصل الإنتاجي وقد انعكست هذه العلاقة تقريباً في المنحنى المتسم بالعلو asymptotic بالطريقة أخرى، كما زادت كمية العامل المحدد للنمو لتحسين الحاصل الإنتاجي، فإن زيادة في الحاصل الإنتاجي تصبح صغيرة. وهذا النمط في زيادة الحاصل الإنتاجي وضحت في الشكل 5.10، حيث استعمل فيه النتروجين عاملاً محدداً للنمو، زيادة في الإنتاجية العالية نتجت من إضافة الوحدة الأولى للنتروجين، وبإضافة وحدات متتالية من النتروجين تقل نسبة الزيادة في الحاصل الإنتاجي، وتصبح على التوالي صغيرة (منحنى التجاوب المتناقص). وقد درس متشرليس Mitscherlich هذه العلاقة في عديد من تجارب الأصيص والتجارب الحقلية واستنتج أن زيادة الإنتاجية الناتجة من وجود عامل النمو كانت تتناسب مع كمية الحاصل الإنتاجي المطلوبة للوصول إلى أقصى مستوى إنتاجي. وهذه العلاقة يمكن توضيحها رياضياً كالآتي:

$$\frac{dy}{dx} = K\,(A-Y)$$

حيث أن:

Y = الحاصل الإنتاجي (الإنتاج).

A= الإنتاجية القصوى.

K= ثابت.

X= عامل النمو.

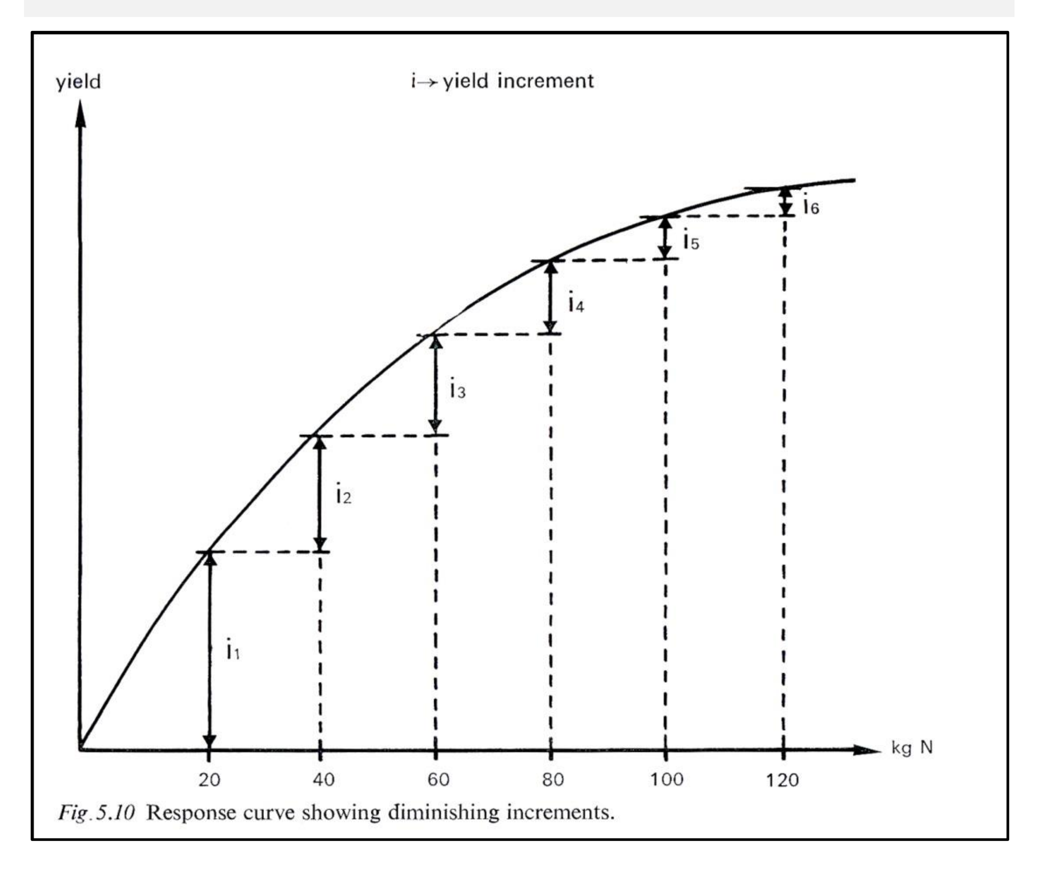


Fig.5.10 Response curve showing diminishing increments.

وبإجراء عملية التكامل على هذه المعادلة نتحصل على المعادلة الآتية:

$$In = (A-y) = C - k$$

إن مصطلح C ثابت التكامل الذي يشمل كل مصطلحات الثوابت ماعدا K. إذا X = صفر، فإن قيمة Y أيضاً تساوي صفراً ، ويعني في مثل هذه الحالة المعادلة التالية تكون صحيحة.

$$In\ (A-O) = C - O$$
$$InA = C$$

بالتعويض عن قيمة C بـ A في معادلة التكامل نحصل على المعادلة الآتية:

$$In = (A-Y) = InA - K_x$$

وبتحويل اللوغاريتم الطبيعي إلى اللوغاريتم العادي، فإننا نحصل على الصورة النهائية لمعادلة متشرليس.

$$Log (A-Y) = Log A - C_x$$

إن مصطلح C في هذه الحالة يتناسب مع K والناتج من تحويل اللوغاريتم الطبيعي إلى اللوغاريتم العادي.

$$C = K X0.434$$

وإن معادلة "متشرليس" تكتب عادةً بالصيغة غير اللوغارتمية كما يلي:

$$Y = A C (1-10^{-cx})$$

منحنيات "متشرليس" لعوامل النمو N و K و P قد بينت في الشكل 5.11 (Vonboguslawsk, 1958) وأن ميل هذه المنحنيات الثلاثة تختلف.

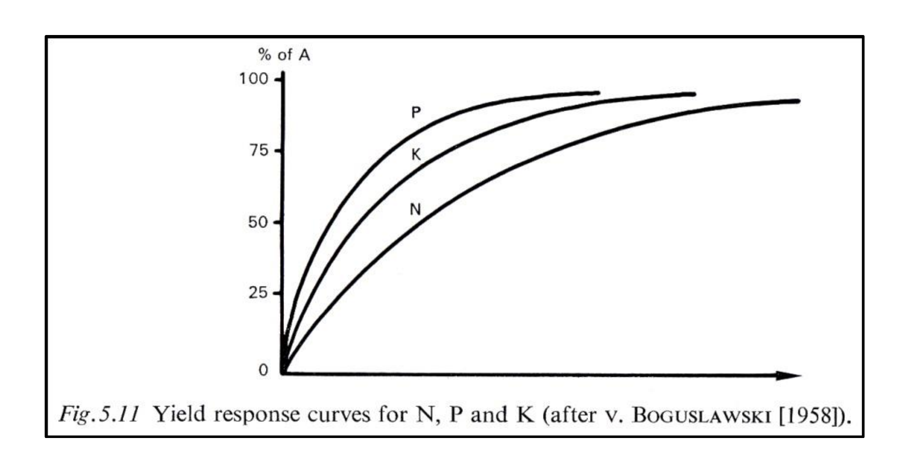


Fig.5.11 Yield response curves for N, P and K (after v. BOGUSLAWSKI [1958]).

إن التدرج (الانحدار) الشديد الحاصل مع الفوسفور P، وتغير المستوى مع النتروجين

N وهذا يوضح أن عامل النمو قد عبر عنه بوحدات وزن من N و K_2O و P_2O_5 على التوالي Mitscherzich, 1954 أن قيمة C هذه ذات أهمية أساسية. وأعتقد أنها قيمة ثابتة، أو بصيغة أخرى أنها يمكن أن تعرف منحنى الإنتاج، ذلك عن طريق تحسين عامل النمو، من ناحية أخرى أصبح الآن من المعروف بأنها ليست الحالة الوحيدة، حيث بينت عدد من التجارب التي أجريت من الباحثين المختلفين هذا الاختلاف (, Van Der paauw (1952) Atanasia, (1954) , Shimshii 1967) أن الأهمية المعنوية لقيمة C تعطي دليلاً إلى فيما إذا كان من الممكن الحصول على أعلى إنتاج بوساطة كمية منخفضة أو مرتفعة نسبياً من عامل النمو. حيث يحتاج إلى كميات كبيرة عندما تكون قيمة منخفضة والعكس صحيح.

في الشكل 9.5 قد بين أن تجارب الحاصل الإنتاجي نتج عنه زيادة في عامل نمو واحد، ومثال على ذلك تركيز CO_2 الذي يعتمد أيضاً على شدة عوامل النمو الأخرى، مثل شدة الإضاءة. ونفس العلاقة تكون صحيحة مع العناصر الغذائية. وأحسن مثال على ذلك قدم من قبل (Maclod, 1969) وأهم نتائجه ما بينت في الشكل 5.12. أن التجارب التي أجريت على نبات الشعير النامي في المحلول الغذائي، أوضحت بأن زيادة تركيز N في محلول الغذائي نتج عنه ثلاث منحنيات مختلفة للحاصل الإنتاجي لثلاث مستويات مختلفة من البوتاسيوم المضاف.

حيث عند المستوى K المنخفض بين المنحنى بأن حصل تناقص في الحاصل الإنتاجي واضح عند مستوى التغذية بالنتروجين العالي. ولا يمكن تفسير هذا لاستعمال معادلة متسرليش Mitscherlich، لأن المنحنى كان مقارباً، والذي من الحاصل الإنتاجي

(Y) قد وصل إلى الحد الأقصى. وحتى في المنحنيين الأخريين في الشكل (12.5) لم يلاحظ هذا الشكل التقاربي وبالأحرى يبدو بأنه تساوى عند تركيز النتروجين في المحلول الغذائي. ونفس نمط التجاوب لإضافة الأسمدة لعدد من المحاصيل الحقلية قد بينت أيضاً من قبل Boyd (1970) حيث ارتفاع المستقيم مع الانتقال الحاد الذي أتبعه خط مستقيم ثاني حيث تغيرت علاقة الحاصل الإنتاجي قليلاً أو زادت ببطء.

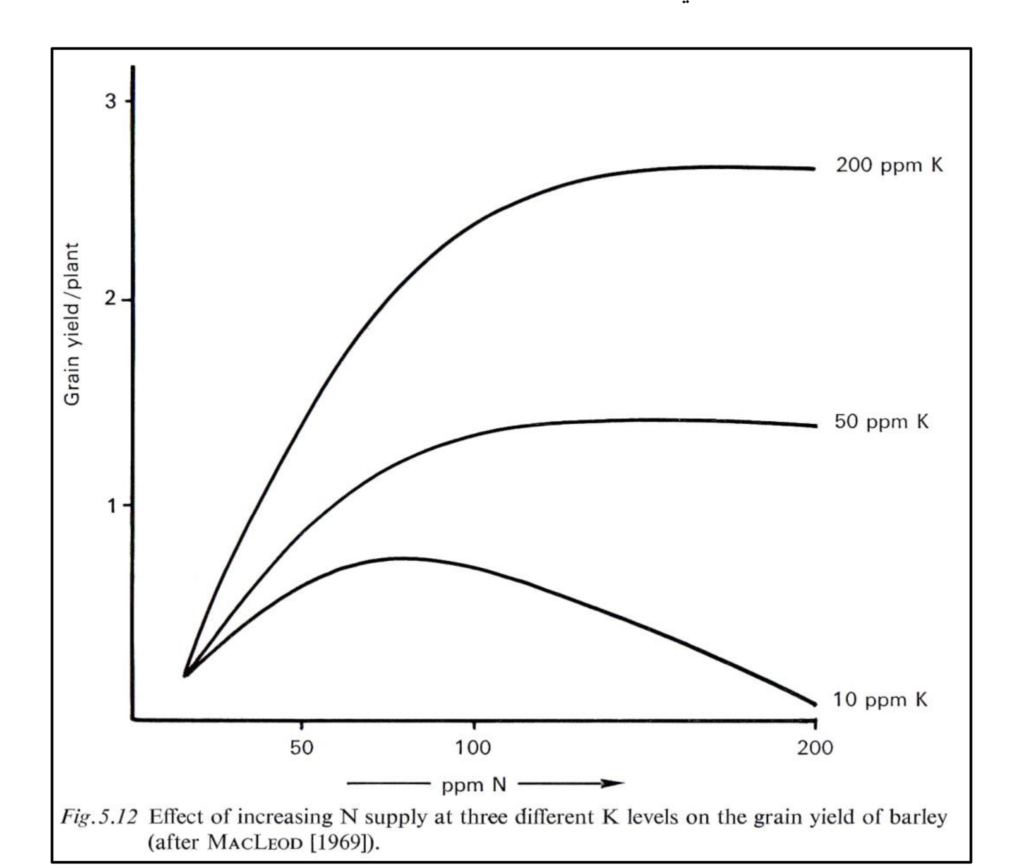


Fig. 5.12 Effect of increasing N supply at three different K levels on the grain yield of barley (after MacLeod [1969]).

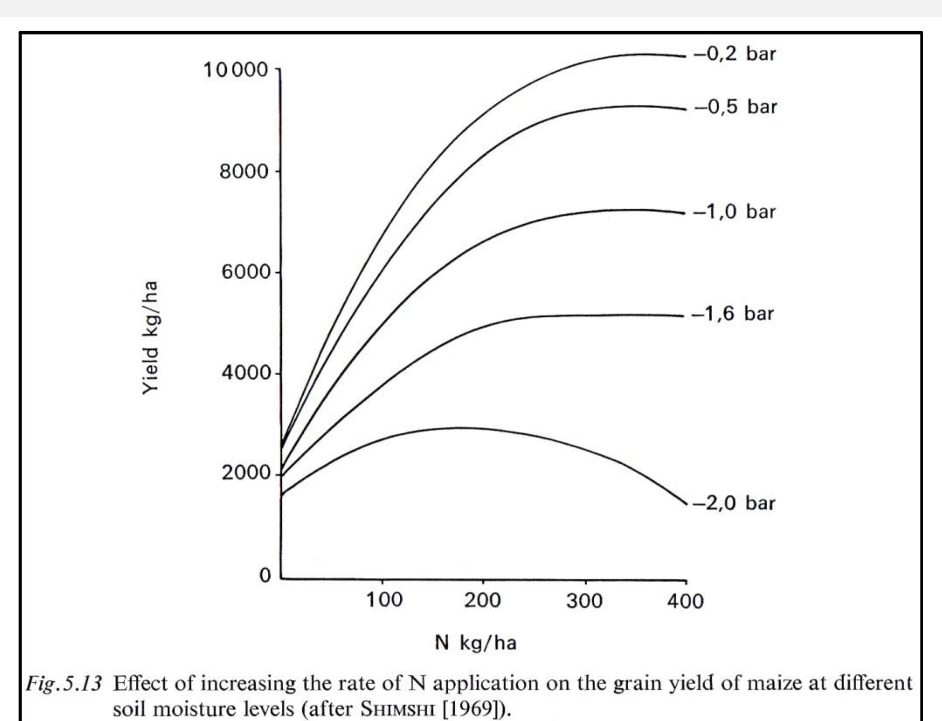


Fig.5.13 Effect of increasing the rate of N application on the grain yield of maize at different soil moisture levels (after SHIMSHI [1969]).

نتائج مشابهة لهذه النتائج التي قد وضحت أعلاه تحصل عليها Shimsi, (1969) عندما خطط (رسم) علاقة حاصل الإنتاجي لحبوب الذرة مع معدلات إضافة سماد N بعلاقتها بمستويات محتوى الرطوبة للتربة. كما هو موضح في الشكل 13.5. عندما يكون محتوى الرطوبة لتربة منخفضاً (جهد مائي منخفض)، فإن المنحنيات أنقلب وضعها ولم يلاحظ هذا في مستويات الرطوبة العالية للتربة بمعاملة هذه النتائج طبقاً لمعادلة متشرليس، وجد Shimshi بأن قيم C غير ثابتة، بل ازدادت بزيادة الإجهاد المائي. وهذا يعني أنه كلما كان الإجهاد المائي مرتفعاً (عالياً) كان معدل النتروجين الذي يحتاج إليه قليلاً من أجل الحصول على أعلى إنتاج، وبنظرة عامة يوضح هذا المثال أن الاستجابة للأسمدة تكون عالية

عندما توجد عوامل النمو الأخرى ذات الفائدة، مثل الماء ودرجة الحرارة، وشدة الإضاءة، وبعض عوامل الأخرى.

ويلاحظ هذا بصورة متكررة في التطبيقات الحقلية، حيث يكون الحصول على أعلي حاصل إنتاجي نتيجة استجابة لإضافة الأسمدة في التربة ذات القدرة الإنتاجية الغالية (Holliday,1963) ومثال على تلك الحالة التي بينت في شكل 14.5.أن إضافة كميات كبيرة من النتروجين N والفوسفور P والبوتاسيوم K إلى نباتات البطاطس أدت إلى انخفاض في الحاصل الإنتاجي في التربة ذات القابلية الإنتاجية المنخفضة، بينما في ترب ذات قدرة إنتاجية عالية تحصل على تجاوب في الحاصل الإنتاجي. ومن هذه النتائج وغيرها وضح (Holliday,1963) أساس الضعف في معادلة "متشرليش" في تفسير الاستجابة لإضافة الأسمدة، وهذه المعادلة تعطي منحني من نوع مقارب Asymptotic.في أكثر الأحيان منحنيات ناتجة من تجارب التسميد تكون هناك نقطة تحول، ولهذا السبب بعض الباحثين يفضلون استعمال معادلة Quadratic في وصف استجابة الحاصل الإنتاجي الناتج من تحسين عامل النمو الواحد.

من النظرة البيولوجية يجب الإجابة عن السؤال، لماذا يحصل النقص في الإنتاجية نتيجة إضافة المفرطة للمغذيات؟ وهذه بعض الأمثلة يمكن ذكرها على سبيل المثال، إضافة معدلات N العالية لمحاصيل الحبوب تسبب الرقاد، أو زيادة حساسية المحصول للإضافة بالأمراض الفطرية.بالإضافة لذلك،قد تحصل اضطرابات فسيولوجية أكثر، وإن زيادة مستوى التغذية بالنتروجين تؤدي إلى زيادة مفرطة في الأحماض الأمينية الذائبة التي لا يمكن استعمالها

في عمليات النمو بسبب العجز أو النقص في العناصر الغذائية الأخرى.وعن إضافة البوتاسيوم بكميات مفرطة يمكن أن تقلل من امتصاص الكاتيونات الأخرى، وخاصة Mg (انظر 2.12) وهذا مما يسبب نقص الماغنسيوم،وبذلك يقل الحاصل الإنتاجي.إن التسميد العالي بالفوسفور يؤدي إلى انخفاض الحاصل الإنتاجي،وذلك بتقليل إنتاجية العناصر الثقيلة وخاصة الزنك Zn (GÄRTEL,1968) إن التسميد بالأسمدة المعدنية بمستويات عالية وخاصة عند إضافتها مباشرة قبل أو بعد البذر، قد تؤدي بصورة مؤقتة إلى زيادة للتركيز الأيوني في محلول التربة،الذي ربما يكون ضاراً على عملية إنبات البذور.وفي هذا السياق يكون النتروجين في صورة أمونيوم ضاراً (Barker et al,1970).

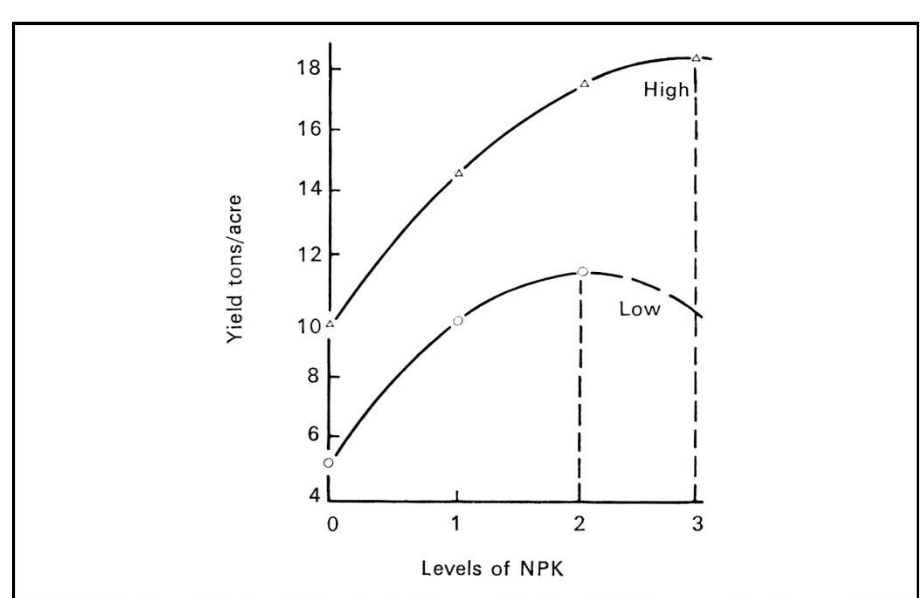


Fig.5.14 Potato yields in relation to fertilizer application (NPK) on a soil of low and high potential (after HOLLIDAY [1963]).

الأمثلة التي ذكرت توضح أنَ هناك محاولة مثمرة في تفسير استجابة الحاصل الإنتاجي باستعمال عامل نمو واحد، وبوساطة معادلة واحدة صالحة لكل ظروف النمو للمحصول. يكون الحاصل لإنتاجي نتيجة عدد من العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية والفسيولوجية التي تتأثر بعوامل أخري مختلفة في مراحل النمو.ولهذا السبب لا يمكن توقع أن منحني استجابة واحد ناتج من عامل نمو واحد يغطي الاختلاف الكبير للظروف التي تساهم في تكوين الحاصل الإنتاجي وهذه الملاحظات لا تقلل من أهمية منحنيات الاستجابة ومعادلات وخاصة في النتائج التي قام بها متشرليس ومساعدوه .Mitscherlichm, 1950 والخلاصة الرئيسية من عمل "متشرليس" هي أنه بزيادة عامل نمو تصبح زيادة الحاصل الإنتاجي صغيرة. إن هذا قانون تناقصي زيادة في الحاصل الإنتاجي Law of Diminishing Xield Inerements يكون له أهمية كبيرة ولا يطبق في الإنتاج الزراعي فحسب، بل أيضاً يستعمل في المشاكل الصناعية والاقتصادية.

3.5: التغذية وجودة النبات

1.3.5: نظرة عامة

إن جودة الإنتاجية لنبات ما ليس من السهل تعريفها وقياسها كمثال الحاصل الإنتاجي، حيث تعتمد الجودة كثيراً على الغرض الذي من أجلها زرع أو استعمل النبات على سبيل المثال، ينظر لنوعية حبوب الشعير التي تستعمل في صناعة (المالت) نظرة مختلفة عن التي تستعمل في تغذية الحيوانات وهذا أيضاً صحيح مع درنات البطاطس التي تستعمل في إنتاج النشا، والتي تستعمل في الاستهلاك البشري. حيث هناك أيضاً أمثلة كثيرة

من هذا النوع عدد من عوامل الجودة مثل النكهة (الطعم) والمذاق من الصعوبة جداً قياسها،وكما أن هذه العوامل تكون أيضاً غير موضوعية،حيث أن التقييم المطلق للنوعية يكون صعباً في كثير من الأحيان.ولهذا السبب فإن الجزء التالي يقتصر على بعض العلاقات الأساسية بين التغذية وتمثيل المركبات العضوية.

إن العوامل الأساسية التي تتحكم في جودة الإنتاجية قد ثبتت وراثياً، وبهذا فإن بروتين البطاطس يختلف بشكل بين أصناف البطاطس، حيث أن العوامل البيئية بما فيها التغذية لها المقدرة في التأثير على نمط البروتين (Stegemann et al ,1973) ومن ناحية أخرى فإن العوامل الداخلية تستطيع التأثيرات في التغذية تعتمد على تأثير مغذيات معينة على العمليات الكيموحيوية (بيولوجية) أو الفسيولوجي. أن المحتوى الكربوهيدرات أو السكريات في الأنسجة الخازنة والحبوب والبذور تكون لها علاقة بنشاط البناء الضوئي للنبات وعلي معدل انتقالها إلى أجزاء النبات الخازنة.

2.3.5 المحاصيل الجذرية

كما أشير أعلاه في الفقرة (3.1.5) بأن وجود مستوى ملائم من التغذية بالبوتاسيوم يحفز ثاني أكسيد الكربون وانتقال الكربوهيدرات من الأوراق إلى درنات البطاطس،وهذا هو السبب يرجع إلى محتوى النشا المرتفع لدرنات البطاطس المسمدة جيداً بالبوتاسيوم (Lachover And Arnan,1966). وهذا التأثير يعتمد أيضاً على نوع سماد البوتاسيوم المستعمل، حيث موريات البوتاس Muriate Potash كلوريد البوتاسيوم (KCL) يعطي بصورة عامة محتوى منخفضاً من النشا مقارنة بالبوتاسيوم في صورة كبريتات، وهذا

الاختلاف ربما يرجع إلى حقيقة، أن الكلوريد له تأثير سلبي على انتقال الكربوهيدرات في نباتات البطاطس (Haeder,1975) ويبين جدول 5.10 نتائج تجارب حقلية طويلة الأجل التي بحث فيها عن تأثير كلوريد البوتاسيوم KCL وكبريتات البوتاسيوم K_2So_4 على الحاصل الإنتاجي للدرنات ومحتوي النشا فيها (Terman,1950) ومستويات البوتاسيوم K العالية (>800 كجم K_2o / هكتار) يمكن أن تقلل من محتوى الكربوهيدرات لدرنات البطاطس (Vertregt,1968) وهذه الحالة خاصة، إذا أضيف البوتاسيوم K في صورة KCL في الربيع .(Wicke,1968)

أن جودة درنات البطاطس ليست هي قضية المحتوى النشا فقط حيث يجب أن تكون درنات البطاطس التي تستعمل في إنتاج النشا على درجة عالية من الأسترة بين الفوسفات ومجموعة الهيدروكسيل للنشا.إن النشا ذو درجة عالية من الأسترة وبذلك تكون لزوجتها أكثر ونوعيتها أحسن. إن التجارب التي قام بها كل من Effmert (1967),Gorlitz(1966) وضحت أن التسميد بالفوسفور P، حيث لا يزيد محتوى الفوسفور لدرنات البطاطس فقط، بل أيضاً يحسب من نوعين النشا.

Table 5.13 Effect of potassium sulphate and potassium chloride on the yield and starch content of potato tubers (TERMAN [1950])

Treatment	Tuber yield (tonnes/ha)	Starch %
KCl	2.81	13.3
K_2SO_4	2.82	14.6
½ KCl + ½ K_2SO_4	2.86	13.8

يعتبر اسوداد الدرنات مشكلة في درنات البطاطس التي تستعمل في الاستهلاك البشري.وطبقاً لأبحاث كل من (1962) Hugheo And Swain فإن الاسوداد ينشأ من تكون (مركب الجاوي) على الحديد وحامض الكلورجنينك Chlorogenic acid. إن حامض الخليك يثبط تكوين المركب، ربما عن طريق خلب الحديد. كما أن محتوى حامض الخليك في درنات البطاطس ذو علاقة إيجابية مع محتوى البوتاسيوم K (Macklon and Dekock, 1967) والتسميد بالأسمدة البوتاسية، وبكميات كبيرة يقلل من حساسية درنات البطاطس للاسوداد. (Mulder, 1956) Verteregr, 1968.

إن العلاقة بين ظهور البقع السوداء ومحتوى البوتاسيوم لدرنات البطاطس قد بينت في الشكل 5.15 من عمل Vertregt, 1968 والذي وجد أن درنات البطاطس ذات محتو من البوتاسيوم < 500 ملي مكافئ K / كجم من المادة الجافة أكثر 50 % لأنها تعاني من بقع سوداء، بينما درنات ذات محتوى K > 600 ملي مكافئ K / كجم من المادة الجافة أقل من 20 % قد ظهرت عليها الأمراض. والشكل يبين أيضاً العلاقة السلبية الواضحة بيم محتوى K ومحتوى المادة الجافة للدرنات، ومن ناحية أخرى فإنّ هذه العلاقة لا تعتمد على تغذية بالبوتاسيوم (K) فحسب، أيضاً تتأثر بالعمر الفسيولوجي للدرنات. الدرنات الحديثة تكون عالية في البوتاسيوم ومنخفضة في محتواها من النشا، ولها محتوى مائي مرتفع، بينما الدرنات القديمة يكون العكس صحيحاً.

وحساسية درنات البطاطس للضرر الميكانيكي نتيجة الحصاد أو بوساطة النقل أيضاً تؤثر في التغذية وقد وضح Pätzold and Dambroth 1964 أن مستويات إضافة الفوسفور

العالية تُقلل من حساسية درنات البطاطس للضرر الميكانيكي.

درنات المحاصيل الأخرى، التي تكون الكربوهيدرات هي المادة المخزنة الرئيسية مثل البطاطة الحلوة (Ipomoea batata)، المنيهوت Cassava (Monioc=) والليام (أنواع Dioscorea) وقلقاس (Helianthus tuberosus) ، تستجيب بصورة متشابهة للتغذية.

لقد وجد Obigbesen, (1973) أن ليس الزيادة في محتوى النشا فقط في درنات المنيهوت Cassava بسبب إضافة البوتاسيوم، بل إن المحتوى من السيانيد قد قل أيضاً.

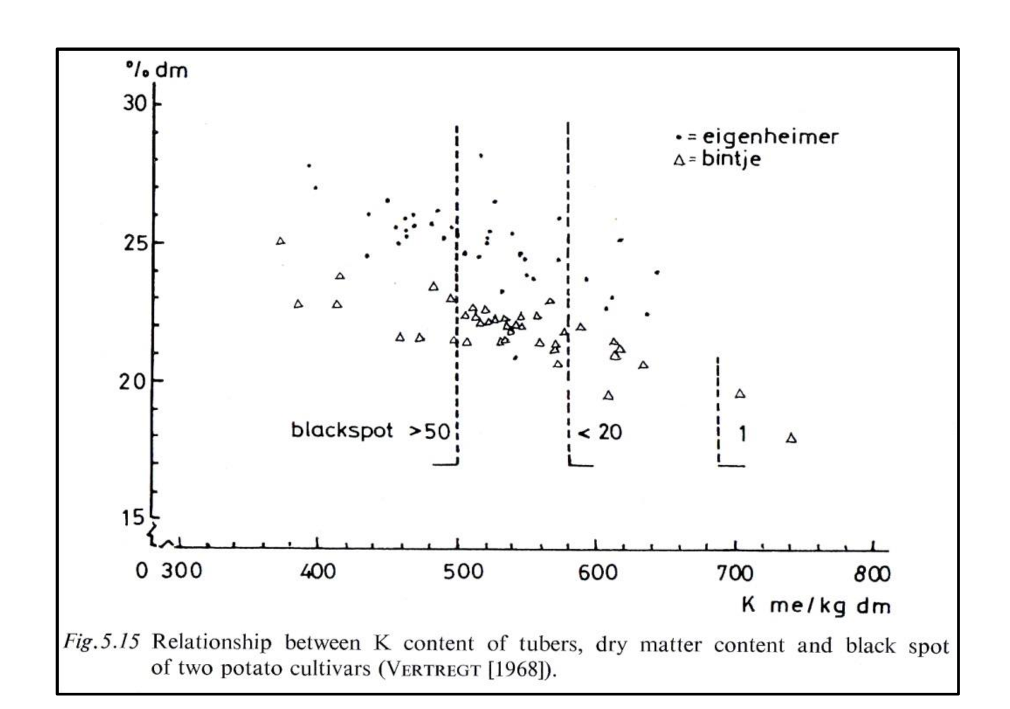


Fig.5.15 Relationship between K content of tubers, dry matter content and black spot of two potato cultivars (VERTREGT [1968]).

إن جودة بنجر السكر تعتمد بشكل رئيسي على المحتوى من السكريات، ولكنها

تتأثر أيضاً بمحتوى المركبات الأمينية الذائبة، وبمحتوى العناصر المعدنية، وخاصة K^+و Na^+.
ووجود المركبات الأمينية الذائبة والعناصر المعدنية يعرقل من عملية التبلور أثناء تكرير السكر، وبذلك تؤثر على الحاصل الإنتاجي للسكر. زيادة التغذية بالبوتاسيوم إلى المستوى الملائم تكون مصاحبة بزيادة في محتوى السكر بصفة عامة (Troeme and Barbier 1960)، Gutestien 1967 وانخفاض في محتوى المركبات الأمينية الذائبة (Draycott et al 1970) من ناحية أخرى، فإن مستويات البوتاسيوم العالية على الأقل تزيد قليلاً من محتوى البوتاسيوم في الجذور، على الرغم من أن الاستجابة الرئيسية تكون في زيادة محتوى البوتاسيوم عالية للأوراق وزيادة البوتاسيوم تكون دائماً مصحوبة بانخفاض محتوى الصوديوم Na في جذور نبات بنجر السكر (Von Boguslawski and Schildbac 1969).

التغذية بالنتروجين تكون ذات أهمية كبيرة في جودة بنجر السكر، وبإضافة كميات وفيرة من النتروجين أثناء مرحلة النمو الأولى لنبات بنجر السكر تكون ضرورية للحصول على حاصل إنتاجي مرضٍ، ولكن إضافة النتروجين أثناء المراحل الأخيرة من (أغسطس – إلى أكتوبر) يجب أن تنخفض (Winner, (1968) , Boonner, 1924) وإذا لم يحدث ذلك، فإن نمو الورقة (ستُحفز) على حساب خزن السكريات في الجذور (أنظر 4.1.5). وتتميز جذور نبات البنجر النامي في مستوى التغذية بالنتروجين العالي، أثناء الشهور الأخيرة قبل الحصاد بمحتواها المنخفض من السكر والتركيز العالي للمركبات الأمينية والعناصر المعدنية، هذا ينتج بسبب أن الأنسجة الخازنة بقيت في المرحلة اليافعة (Forster, 1970). والإضافة المتأخرة للنتروجين والإمداد بصور النتروجين التي تكون غير

متاحة بصورة مباشرة، على سبيل المثال الأمونيا اللا مائية (Canhydrous NH_3)، ولهذا السبب يجب عدم التوصية باستخدامها عند زراعة بنجر السكر (Roussel et al, 1966).

إن جودة بنجر السكر لا تعتمد على التغذية المعدنية فحسب بل أيضاً تتأثر بالعوامل البيئية. في السنوات ذات الأمطار القليلة وشدة الإضاءة العالية، يكون الحاصل الإنتاجي للجذور بصفة عامة قليلاً. ومثل هذه الجذور يكون محتواها من السكر مرتفعاً. وكذلك محتواها من الأحماض الأمينية والعناصر المعدنية. وهذه الحالة هي الصبغة النموذجية في ظروف الإجهاد المائي، التي ينتج عنها نمو جذري ضعيف وتجمع للسكر والمركبات الأمينية والعناصر المعدنية في الجذور.

وقد تحصل على أحسن حاصل إنتاجي لبنجر السكر عندما تكون ظروف شدة الإضاءة العالية هي السائدة أثناء الأسابيع الأخيرة من فترة نمو بنجر السكر، حيث الماء اللازم المتاح للمحصول. التسميد بالمستوى الأمثل مع الري يؤدي كل ذلك إلى أعلة حاصل إنتاجي لجذر مع نوعية جيدة (VonBoguslawski and Schildbach, 1969). في وسط أوروبا وتحت هذه الظروف كان الحاصل الإنتاجي تقريباً 80طن جذور / هكتار أو 12 طن سكر / هكتار يمكن حصاده.

مشاكل نوعية قصب السكر تشابه مشاكل ينجر السكر. قصب السكر الذي ينمو في المناطق الملحية يكون ذو نوعية رديئة، حيث يكون المحتوى في السكر منخفضاً، ويحتوي على كميات عالية جداً من المركبات الأمينية والعناصر المعدنية.

3.3.5 محاصيل الحبوب

في محاصيل الغلال التي تستعمل في صناعة الخبز، فإن نوعية الحبوب تكون ذات أهمية خاصة، أصناف القمح النامية تحت الظروف الجافة في كندا أو حبوب شرق أوروبا هي من أنواع القمح الصلب الذي يمتلك صفات نوعية للعجين. الأصناف النامية تحت الظروف الأكثر رطوبة في الغرب والشمال الغربي لأوربا تكون في الغالب رديئة النوعية، وعلى الرغم من أنها تمتاز بالإنتاجية العالية. في السابق كان الاختلاف بين هذين النوعين واضحاً. والآن أصناف القمح الجيدة ذات الإنتاجية العالية متوفرة، من ناحية أخرى، يجب إمداد محاصيل الغلال ذات النوعية الجيدة لصناعة الخبز بالعناصر الغذائية اللازمة، وخاصةً النتروجين من أجل الانتفاع من نوعيتها الجيدة. حيث الجلوتين هو أهم مركب يحدد نوعية وجودة العجين للخبيز. وهذه المادة تتكون من بروتين الجلوتولين في الحبوب، التي توجد في أندوسبرم الحبوب. إن نوعية الخبز يكون لها أيضاً علاقة بدرجة بلزمة الجلوتولين الناتجة بوساطة disulphide bridging وطبقاً لما جاء به (Ewaet, (1978 فإن درجة البلزمة للجلوتوليم العالية ينتج عنها زيادة في تماسك وفي تحسين نوعية المعجنات.

Table 5.14 Effect of an additional N application at the flowering stage on yield, protein content of grains and baking quality of winter wheat. Mean values of 10 field experiments (KÜRTEN [1964])

	Control, 80 kg N/ha as a basic dressing	+40 kg N/ha at flowering stage	+60 kg N/ha
Grain yield, tonnes/ha	4.59	4.98	5.24
Protein content, %.........	11.9	12.7	13.3
Sedimentation value........	28	30	34

إضافة النتروجين لحبوب الغلال عند مرحلة التزهير، تزيد فعلاً من المحتوى البروتيني وتحسن من نوعية الخبيز. وهذا موضح في جدول 5.14 (Küeten, 1964). إن إضافة 40 أو 60 كجم N / هكتار عن مرحلة التزهيز التي لا تزيد من إنتاجية الحبوب فحسب بل تزيد من النوعية. حيث أن المحتوى البروتيني وقيمة الترسيب Sedimentation زادت، وبذلك تحسنت نوعية المعجنات.

إن النتروجين الممتص أثناء مرحلة النمو الخضري يستعمل بصورة رئيسية في النمو الخضري، بينما النتروجين N المضاف بعد التزهير يستعمل مباشرةً من أجل تمثيل بروتينات الحبوب (Michael and Blame 1960). إن التأثير الإيجابي لإضافة النتروجين المتأخر على نوعية خبيز محاصيل الحبوب، قد أثبتت بعد درر من التجارب التي أجريت في أوروبا الوسطى (Primost, (1962,1968) , Jaha-Decbach abd Weipert 1965). ومن ناحية أخرى تحت الظروف الأكثر جفافاً، لا تتحسن نوعية الخبيز بإضافات النتروجين المتأخرة. ولقد لوحظت هذه الحالة من قبل Mcneal et a; 1963 عندما استعمل خمسة أصناف من القمح الصلب الربيعي الأحمر وطبقاً للتجارب الحقلية التي قام بها كل من Primost , 1968 and Schäfer and Sieblod, 1972 يجب أن تجهز النباتات بكمية ملائمة من البوتاسيوم K من أجل الحصول على تأثير إيجابي من إضافة النتروجين المتأخرة على نوعية الحبوب للخبز.

نوعية البروتين الخاص بالتغذية وتقدر بشكل رئيس بوساطة البروتين الخام ونسبة الأحماض الأمينية الضرورية.وهناك أحماض أمينية لا يمكن تمثيلها من قبل الإنسان أو الحيوان، ولهذا السبب يجب تزود أو تضاف كمركبات في تغذية التربيات (جدول 5.15).حبوب

الغلال والذرة خاصة تكون منخفضة في محتواها من الليسين Lysino، لهذا تكون نوعية البروتين غبر جيدة.وإن إضافة النتروجين المتأخرة تزيد من محتوى البروتين الخام في الحبوب،ولكن بروتينيات المستقلة للحبوب تتأثر بدرجات مختلفة. الابيومين (Albumin) والجلوبيولين (Globuline) هي بروتينات رئيسية للجنين وهي صعبة التأثير بينما يزداد محتوى الجلوتولين (Gluteline) وخاصة برولامين Prolamine (Michael And Bulme,1960) وقد وجد Mitchell et al 1952 العلاقة نفسها في حبوب الذرة.

Table 5.15 Essential amino acids in human nutrition

Valine	Threonine	Phenylalanine
Leucine	Methionine	Tryptophan
Isoleucine	Lysine	

إضافة N تزيد من محتوى الزين Zein (البرولامين لحبوب لذرة).والبرولامينات تكون فقيرة في محتواها من اللسين Lysine، وهذا يعني أن زيادة في نسبة البرولامين بشكل خاص في المراحل النهائية لنضح الحبوب. وبينت هذه في جدول 5.16 لصنف الذرة المألوف (Sonntag And Michael ,1973) ونفس النتائج وجدت للقمح حيث أن تركيز الجلوتولين قد زاد زيادة ضعيفة في مراحله الأخيرة لفترة امتلاء الحبوب، بينما أرتفع محتوى البرولامين بشكل ملحوظ (Mengel et al ,1981). إضافة N المتأخرة للقمح والشعير والذرة تؤدي في أغلب الأحيان إلى زيادة محتوى البروتين الخام للحبوب، ولكن قيمتها الغذائية قلّت.

Table 5.16 Change of protein proportions during the maturation of maize grains of a conventional cultivar (SONNTAG and MICHAEL [1973])

Days after flowering	16	24	28	42	70
	% of total grain N				
Albumin+globulin	31	32	26	18	18
Prolamin	3	20	34	43	43
Glutelin	12	13	13	16	19
Water soluble N	49	28	23	15	12
Residue	5	6	4	5	8

وطبقاً لأبحاث Volke 1960 على القمح والشعير، فإن زيادة محتوى البروتين الخام نجم عنها انخفاض النسب لمختلف الأحماض الأمينية الضرورية. وقد وجدت نفس النتائج من قبل Keeney 1970 لنبات الذرة، الذي وجد أن معدلات الإضافة العالية للنتروجين سببت زيادة كبيرة في البروتين الخام للحبوب، ولكن كانت مصحوبة بنقص لايسين Lysine وتريونين Threaonine، وستين Cycteine وارجينين Arginine واسبارجين Asparagine والجليسين Glycine في بروتين الحبوب الكلي ولقد بين كل من Hojjati And Maleki,1972 أيضاً في حبوب القمح أن الزيادة في محتوى البروتين الخام كانت مصحوبة بانخفاض في نسبة لايسين Lysine والميثولانين Methionine ونفس العلاقة قد وجدت في بروتينيات حبوب الراى (Bayzer And Mayr 1967). إلا أن الحالة تختلف مع الشوفان الأرز.وهذا التسميد العالي أو المتأخر بالنتروجين بصفة عامة يزيد من محتوى الجلوتولين، وزيادة بروتين الحبوب الحاوي كمية متوسطة أو عالية من اللايسين Lysine. ولهذا فإن زيادة بروتين الحبوب لهذه المحاصيل، لا ينتج عنها انخفاض في القيمة الغذائية. وهذا اكتشاف فد أكد عليه في تجارب التغذية التي استعملت فيها الخنازير والفئران لقد لوحظ أن نوعية بروتين

بوب الشعير والقمح قد تردت نتيجة الاحتياجات العالية للنتروجين، إلا أن نوعية البروتين لحبوب الشوفان قد تحسنت بوساطة الإضافات العالية لنتروجين (Brane et al 1960).

يتضح من الشرح والمناقشة السابقة أن نوعية البروتين لحبوب القمح والشعير والذرة الرديئة يمكن تحسينها قليلاً بوساطة التغذية النباتية.كما أن هذه الحبوب تلعب دوراً في تغذية الإنسان ،وخصوصاً في الدول النامية،فإن تحسين نوعية بروتين هذه الحبوب يعتبر تحدياً لعلماء الوراثة (المربيين للنبات).أحد أهم التحسينات في الاتجاه الصحيح الذي قام بها Mertz et al 1964 وهؤلاء العاملون قد تحصلوا على سلالات للذرة والشعير ذات المحتوى لايسين Lysine العالي في الحبوب، ويعزي هذا لأن البروتينيات المخزونة تحتوي بشكل رئيس على جلوتولين (Gluteline) وليس برولامين (Prolamin) زيادة مستوى التغذية بالنتروجين بهذه السلالات تؤدي بصورة رئيسية إلى زيادة محتوى الجلوتولين أكثر من البرولامين (Sannttag And Michael 1975, Decau And Pollacsek,1970) والشيء الذي يؤسف له أن حبوب محاصيل الغلال الفنية بالمحتوي لايسين Lysine ليست ذات إنتاجية عالية كمحاصيل الغلال المألوفة.وهذا يعني أن أية زيادة في محتوى الايسين في الجنوب يوازية أو بقابلة إنتاجية منخفضة، وكمثال لهذا النوع يمكن استخلاصه من نتائج تجارب لكل من Decau And Pollacset 1970 وهذا الباحثان قد وجد أن زيادة مستوي إضافة N من O إلى 300كجم N/هكتار لأصناف الذرة المألوفة.أدى إلى زيادة جزء الزاين Zein لبروتين الحبوب الكلي من28-43 % ولذا فإن إنتاج الايسين قد انخفض في الأصناف الفنية بالايسين Lysine (Inra O_2) وبقي الزاين Zein ثابتاً عن 15 % ، على الرغم من زيادة

أضافه النتروجين ولهذا فإن محتوى لايسين Lysine لم يحدث له تخفيف. ومن حيث الإنتاجية الكلية لايسين، لا يوجد أي اختلاف كبير بين نوعين من الصنفين المألوفين على الرغم من أن الإنتاجية للحبوب ذات للأصناف الفنية بالايسين Lysine (Inra) كانت أقل 20-30% من الأصناف المألوفة.علي الرغم من انخفاض الحاصل الإنتاجي للحبوب،فإن الصنف الفني بالايسين Lysine قد أنتج 36.8 كجم لايسين / هكتار مقارنة مع 32.1 كجم Lysine / هكتار في الصنف المألوف.

إن الحاصل الإنتاجي المنخفض للحبوب، للأصناف الغنية بالايسين Lysine (Opaque, Flowry) للذرة والشعير (hiproly) كانت نتيجته صغر حجم الحبوب (Stoy, 1972) و (Sonntag and Koch 1973) في دراسة كل من Beringer and Koch, 1977 على امتداد حبوب الشعير (Ris) الغني بالايسين isogenic lysine أتضح أن الوزن المنخفض للحبة ليس بسبب عدن إتاحة المواد المتمثلة ضوئياً، ولكن بالأحرى كانت لها علاقة بمشاركة الأحماض الأمينية في بروتينات الحبوب.

يتضح أنَّ علاقة وثيقة تحصل بين المحتوى البروتيني لحبوب الغلال ومحتوى الفيتامينات: لمجموعة فيتامين B (الثيامين Thiamine والربوفالين Rioboflavin وحامض Nicotinic). ونحفز إضافة متأخرة للنتروجين محتوى للحبوب Scharrer and Pereissner, 1954 (Schaphan et al 1968, Jahn-Dees Bach and May 1972) وبذلك تتحسن القيمة الغذائية؛ ويوجد الفيتامين B بصورة رئيسية في طبقة الأليرون وفي القصعة الحبوب ولهذا السبب يكون محتوى فيتامين B للطحين منخفضاً في الحبوب المطحونة لدرجات

النعومة العالية.

في الحبوب التي تستعمل لصناعة المولت وخاصة الشعير، تحتاج إلى نسبة البروتين المنخفضة والمحتوى المرتفع من النشا، ويجب أن تكون الحبوب كبيرة بصفة عامة حيث تكون غنية في الكربوهيدرات، ويكون بكميات ملائمة (مناسبة) بالفوسفور والبوتاسيوم تنتج نوعية حبوب جيدة لتخمير الشعير، بينما معدلات الإضافة العالية بالنتروجين تضعف النوعية بسبب زيادتها المحتوي البروتيني للحبوب. ولقد أكد عليها من قبل Schidbach (1972) في تجاربه الحقلية. ولقد أجريت اختبارات للتخمر، "المولت" على نطاق صغير كم قبل نفس الباحث الذي وجد أن هناك مكونات كثيرة ومهمة لنوعية البيرة قد تحسنت بإضافة الفوسفور والبوتاسيوم.

إن محتوى الزيت في حبوب الغلال يكون منخفضاً نسبياً (2 – 3 %) وجزء كبير لزيت الحبوب يقع في الجنين. وقد وجد (Wolch ,1978) أن العلاقة الإيجابية بين البروتين ومحتوى الزيت في 86 نوعاً من الشعير، ومن ناحية أخرى لم تلاحظ أية علاقة بين محتوى الزيت لحبوب الشعير ونوعية الخبيز. أكثر من 50 % من الأحماض الدهنية لحبوب الشعير تحتوي على زيت حامض لينوليك Linoleic، كما هو الموضح في جدول 17.5.

Table 5.17 Percent proportion of fatty acids in oil of barley grain (WELCH [1978])

Fatty acid	%
Palmitic acid	21.4–28.7
Stearic acid	0.6– 1.8
Oleic acid	10.4–16.9
Linoleic acid	52.4–58.3
Linolenic acid	4.5– 7.3

كما هو موضح أعلاه فإن محتوى الكربوهيدرات، ومحتوى البروتينات في الحبوب، ومحاصيل الغلال يعتمدان على الإمدادات بالنتروجين بصورة كبيرة أثناء نضج الحبوب أو البذور. وإذا كانت إضافات النتروجين منخفضة أثناء مرحلة النمو فإن جزءاً من المواد المتمثلة ضوئياً تستعمل في تمثيل لتكوين الكربوهيدرات، بينما إذا كانت الكميات النتروجين المضافة كبيرة، فإن جزءاً كبيراً من المواد المتمثلة ضوئياً تتحول إلى بروتينات في محاصيل الغلال، أن تمثيل البروتين وتمثيل النشا يتنافسان على المواد المتمثلة ضوئياً أثناء مرحلة امتلاء الحبوب.

4.3.5 المحاصيل الزيتية

المحاصيل الزيتية تشبه محاصيل الحبوب، حيث يوجد تنافس ملحوظ على المواد المتمثلة ضوئياً بين مختلف المخازن (المستقبلات) الفسيولوجية (Sinks) وهذه الحالة وضحت بشكل جيد بنتائج (Schmarfass 1963) في تجربة على نبات الكتان. وزيادة التغذية بالنتروجين تحفز البروتين الخام من حوالي 22 – 28 %، ولكن ينخفض محتواه الزيتي. ونفس النتائج قد وجدت من قبل Appelquist, 1968 لنبات السلجم. (Brassica hapus). وقد بينت أهم النتائج في هذا البحث في جدول (5.18). وعند مستويات التغذية المنخفضة بالنتروجين كان محتوى الزيت عالياً، إلا أن حاصل الإنتاج للبذور وحجم البذور قد أنخفض. هذا التأثير الإيجابي للمستويات المنخفضة للنتروجين على محتوى زيت الحبوب ربما حصل نتيجة الهرم المبكر للأوراق مما قلل من معدّل امتلاء البذور أثناء نضجها. ولقد بين Hermann, 1979 أن معدلات التسميد بمستويات النتروجين العالية قد سببت ارتفاع حامض Erucic في السلجم وبذلك بكون له تأثير سلبي على النوعية.

Table 5.18 Effect of nitrogen supply on yield and oil content of rape seeds (APPELQUIST [1968])

Nitrogen rate	Seed yield g/pot	Seed weight mg	Oil content % DM
Low	10.0	3.0	46.8
High	18.6	3.6	41.7

ومن المعروف أن بذور الزيت النامية تحت درجات الحرارة المنخفضة تكون غنية بالأحماض الدهنية غير المشبعة مقارنةً مع الأحماض الدهنية المشبعة Ivanov, 1929 و(Barker and Hildtich 1950) و (Beringer, 1971). مثال على هذه العلاقة مبينة في جدول 5.19 أن الأحماض الدهنية غير المشبعة بدرجة عالية يكون لها عدد Iodine أكثر.

Table 5.19 Effect of location on the iodine number in oil of flax seeds (IVANOV [1929])

Location	Degree of latitude	Iodine No.
Archangelsk	64	195–204
Leningrad	59	185–190
Moskow	55	178–182
Woronesh	51	170
Kuban-Odessa	45	163
Taschkent	41	154–158

تجارب كل من Beringer and Sexena 1968 على نبات دوار الشمس والكتان والشوفان قد أكدت هذه النتائج. وقد وجدا أيضاً بأن محتوى Tocopherol (فيتامين E) في البذور الذي يزداد بارتفاع درجات حرارة النمو. ومحتوى الأحماض الدهنية غير المشبعة التي وجدت في بذور الزيت من النباتات النامية تحت درجات الحرارة المنخفضة يمكن أن تفسر

بوساطة الضغط العالي للأكسجين في هذه البذور. وهذا الضغط العالي للأكسجين يشجع تحول الأحماض الدهنية المشبعة إلى غير المشبعة، حيث يحتاج للأكسجين لهذه الأكسدة (Harris and Vames 1969) و (Dompest and Beringer 1970). تحت الظروف التي فيها درجات الحرارة المرتفعة، يكون ضغط O_2 في البذور منخفضاً نتيجة معدّل التنفس العالي. وقد وجد كل من Dybing and Zannermann 1966 في دراستهما لتكون الأحماض الدهنية في بذور الكتان الناضجة أن عند الدرجات المنخفضة (15 – 20مْ) يتكون حامض ليولينك (غير المشبعة) موازياً لنضج الرؤوس. ومن ناحية أخرى تحت ظروف ذات درجات الحرارة العالية (30مْ)، يتوقف تكون حامض ليولينك قبل نضج البذور.

5.3.5 محاصيل العلف

إن نوعية محاصيل العلف مثل نباتات المراعي (الأعشاب والبرسيم والصفصفة) تستعمل المراعي الخضراء أو خرطان تعتمد بصورة كبيرة على درجة هضم العلف. تنخفض درجة الهضم كلما زاد محتوى الألياف الجافة (السليلوز والهيمسيللوز والكفين)، وبزيادة عمر النبات الفسيولوجي تتراكم هذه المركبات، وينخفض محتوى البروتين. وبذلك تكون نوعية محاصيل نباتات العلف القديمة منخفضة. وهذا هو الحال في الأعشاب. وفي الأعشاب المتقدمة في العمر، فإن محتوى الألياف الخام يزيد عن محتوى البروتين الخام. وقد لوحظ هذا في الجدول 5.20.

وإن إضافة النتروجين تزيد من محتوى البروتين كما شوهد من قبل العديد من الباحثين: (Domkofoed and Sondergeard Klavsen,1969 ; Hoogerkamp, 1974)

من نتائج Goswami and Wikkcox 1969 يوضح تأثير زيادة معدل النتروجين المضاف على أجزاء النتروجين المختلفة في عشبة الراي. معدلات التسميد بالنتروجين العالية تزيد من محتوى البروتيني ومحتوى NO_3^- (النترات تصل إلى الحد الأقصى عند معدلات النتروجين العالية الأكثر من 400 كجم نتروجين / هكتار. الزيادة في محتوى البروتين الخام تكون عادة مصحوبة بانخفاض في الكربوهيدرات الذائبة وخاصة في Polyfructosans (Noeakowski, 1962). إن التأثير إيجابي لتغذية بالنتروجين المناسب على حاصل الإنتاج للمادة الجافة وخاصةً على حاصل إنتاج النشا، في المروج الذي حصدت ثلاث مرات في السنة، وقد وضحت في نتائج (Schechtner and Deutsch, 1966) المعروضة في جدول (5.21).

إن هضم نباتات محاصيل العلف ربما تتأثر بصورة أخرى من تطبيقات التسميد. قد بين كل من Schmitt and Brauer (1979) بأن إضافة البوتاسيوم إلى مسطحات العشب يكون لها تأثير واضح على مكونات الهضم المختلفة في العلف الناتج. وأن معامل الهضم الذي تم تقييمه باستعمال تجارب على الحيوان قد بينت في جدول (5.22) إن إضافة البوتاسيوم مع إضافة الفوسفات في معاملة الشاد، قد حسنت من هضم البروتين الخام والبروتين والليبيدات وخفضت من هضم الألياف الخام. إن إضافة البوتاسيوم K في المسطحات الخضراء والمروج المختلفة، قد زاد من نسبة النباتات البقولية على حساب الأعشاب. إن هذا التحول في المكون النباتي ربما يعطي تأثيراً مهماً على هضم الأعشاب.

Table 5.20 Effect of an increasing nitrogen supply on the various nitrogenous fractions of ryegrass (Goswami and Willcox [1969])

kg N/ha	Total N % DM	Protein N % DM	Free amino acid N % of DM	Nitrate and nitrite N % DM
0	1.32	0.98	0.16	0.04
55	1.53	1.10	0.16	0.04
110	1.89	1.26	0.21	0.06
220	1.69	1.75	0.31	0.17
440	3.73	2.06	0.56	0.35
880	3.93	2.34	0.59	0.35

Table 5.21 Effect of nitrogen application rate on the yield of herbage and starch units taking 3 cuts per year (Schechtner and Deutsch [1966])

Treatment kg N/ha	Yield t DM/ha	Starch-units t/ha
PK	6.1	3.0
PK + 60 N	7.0	3.3
PK + 120 N	7.9	3.7
PK + 240 N	9.4	4.1

Table 5.22 Effect of K fertilization on the digestibility quotients of various herbage fractions (data from Schmitt and Brauer [1979])

	% digestibility	
	P	PK
Dry matter	60.5	60.3
Organic matter	63.9	62.9
Crude protein	54.1	61.3
Protein	48.0	54.9
Lipids	44.3	50.6
Crude fibre	64.5	61.6

Table 5.23 Effect of fertilizer practice on the percentage proportion of grasses, legumes and herbs in a meadow. Location 'Beerfelden'. Soil derived from Bunter sandstone mixed with some loess. (data from SCHMITT and BRAUER [1979])

	Grasses	Legumes	Herbs
No fertilizer	65.8	6.3	27.9
P+K	65.9	22.5	11.6
P+K+N	80.5	9.3	10.2

بصفة عامة فإن إضافات N تؤدي إلى زيادة نسبة الأعشاب، بينما التسميد P و K يشجعان نمو البقوليات. وهذه العلاقة الموضحة في جدول (5.23) من التجربة الحقلية الطويلة في تربة فيجير التي هي نموذجية لعدد من نباتات المراعي الخضراء في وسط أوروبا (Schmitt and Brauer, 1979) ومعاملات N على هذه المواقع (150 – 300 كجم N / هكتار) يمكن من أخذ على الأقل 3 حصدات في السنة، ولكن أخذت حصدتين فقط من الأعشاب في مرحلة الهرم (Senescent) وكانت النتيجة نوعية رديئة (Brauer, 1960) وكم حصدة يمكن حصادها باستمرار في السنة يعتمد على رطوبة التربة. وفي الظروف الجافة خاصة، حيث أن البناء يكون في الغالب هو العامل المحدد للنمو تحت مثل هذه الظروف في المروج المخلوطة للأعشاب والبقوليات يكون أكثر مقاومة للنقص في الماء والمؤثرات الأخرى غير مناسبة. ومثل هذه المروج لا تسمد بالنتروجين في الغالب، من أجل الحفاظ على نسبة كبيرة من النباتات البقولية التي تثبت النتروجين الذي تحتاج إليه المروج. ولكن من ناحية أخرى البقوليات تحتاج إلى الإمداد بكميات كبيرة من البوتاسيوم K والفوسفور P وإلا سوف تحتل محلها الأعشاب ذات النوعية الغذائية الرديئة.

تحتوي محاصيل العلف على طاقة (الكربوهيدرات والدهون والبروتينات) والمركبات العضوية (البروتينات) التي يُحتاج إليها في نمو الحيوانات وإنتاج الحليب والبيض أو الصوف. بالإضافة لهذه المركبات العضوية، فإن المحاصيل العلف تمد الحيوانات بالعناصر المعدنية الضرورية لنموها، مثل الفوسفور P والكبريت S والكالسيوم Ca والصوديوم Na والماغنيسيوم Mg والبوتاسيوم K والعناصر المعدنية الثقيلة في أكثر الحالات، تكون هذه العناصر المعدنية موجودة في نباتات محاصيل العلف بكميات كبيرة، ولكن قد يحصل نقص فيها تحت الظروف الإنتاجية المكثفة، وهذا هو الحال عن إنتاج الحليب، حيث تحتاج الماشية الحلوب إلى كميات لا بأس بها من الصوديوم Na والماغنسيوم Mg والكالسيوم Ca والفوسفور P. وهذه العناصر المعدنية يمكن إعطاءها إلى الحيوان بإضافتها كغذائه، ولكن في الغالب يكون من الملائم إضافة محتويات العناصر المعدنية إلى نباتات محاصيل العلف بكميات مناسبة حتى تفي بالاحتياجات العادية للحيوانات. ولهذا السبب يُسمد المرعى بالصوديوم Na والماغنسيوم Mg من أجل زيادة محتوى Mg و Mn في العلف الأخضر، أكثر من كونه يحسن نمو النبات (Finger and Werk, 1973).

إن محتوى العناصر المعدنية للعلف الأخضر، واحتياجات أبقار الحلوب موجودة في جدول 5.24(Kemp, 1971) حيث يكون محتوى K في العلف الأخضر دائماً مرتفعاً أكثر من التي تحتاجه إليه الأبقار الحلوب، إلاَّ أن هذا يُحتاج إليه للحصول على الإنتاجية القصوى للأعشاب.

Table 5.24 Mineral contents of herbage and the mineral requirements of dairy cows (KEMP [1971])

	Average content % DM	Highest and lowest content % DM	Requirement of lactating cows
K	3.0	1.0 –5.0	0.5
Na	0.2	0.01–2.0	0.10–0.15
Ca	0.6	0.3 –2.0	0.40–0.55
Mg	0.2	0.1 –0.5	0.15–0.40

التغذية بالماغنسيوم للأبقار الحلوب يمكن أن تكون مفضلة للحيوانات خاصة في فصل الربيع عندما ترعى على نباتات العلف الحديثة (اليافعة). وتكون هذه الأعشاب دائماً منخفضة في محتواها من الماغنسيوم Mg المتاح، وخاصة في مادة النبات الحديثة يكون رديئاً (منخفضاً) بصورة عامة 15 – 20 % من الماغنسيوم المحتوى في نباتات العلف، يمتص من قبل الحيوان. ومن ناحية أخرى يمكن أن تنخفض نسبة الماغنسيوم المتاح إلى القيم التي أقل من 5 % (Pulss and Hagemelster 1969). وتحت هذه الظروف تكون الأبقار الحلوب غير مزودة بالماغنسيوم المطلوب، وهذا يعني أنَّ محتوى Mg في مصل الدم قد ينخفض إلى المستوى الحرج (1.0ملجم Mg / 100 مل مصل دم). وتعاني الحيوانات من مرض يدعى بالتكزاز العشب. والسبب الذي وراء Mg المتاح في الأعشاب اليافعة يكون منخفضاً. وأقترح بأن مستوى البوتاسيوم K العالي يسبب رداءة هضم Mg، ومن ناحية أخرى نتائج Kemp et al 1961 وضحت أن نباتات العلف القديمة تكون ذات محتوى K المرتفع، حيث ينتج عنه هضم Mg المناسب للأبقار الحلوب جدول 5.25. من مفهوم أن امتصاص Mg يكون منخفضاً، لوحظ فقط في نباتات العشب اليافعة في نباتات البقوليات الحديثة

.(Pulss and Hagmister, 1969)

Table 5.25 Magnesium resorption in milking cows of freshly cut herbage in relation to the content of crude protein, magnesium and potassium (Kemp *et al.* [1961])

Age of the herbage	Young	Medium	Old
Crude protein, % DM	25.9	17.8	14.0
Mg, % DM	0.15	0.12	0.11
K, % DM	3.01	3.35	3.08
Mg-resorption in % of total Mg	10	16	20

5. 3. 6 الخضراوات والفواكه Vegetables and Fruits

معظم مغذيات النبات كالفوسفور P والبوتاسيوم K والماغنيسيوم Mg والكلور Cl والكبريت S والمعادن الثقيلة هي عناصر ضرورية كذلك للحيوان والإنسان، ويستثنى من ذلك النتراتNO_3^- التي تعتبر من المغذيات الهامة للنبات لكنها غير ضرورية للحيوان، والنترات بحد ذاتها ليست سامة ولكن النتريت NO_2^- الناتج من اختزال النترات عن طريق الكائنات الحية الدقيقة خلال فترات التخزين أو معالجة المادة النباتية قد يكون له تأثيرات سامة (Riehle and Jung (1966)). النتريت قد تعرقل انتقال الاوكسجين إلى الهيمةجلوبين (Haemoglobin).

لم يثبت حتى الآن ما إذا كانت NO_2^- تسبب ارتفاع في تكوين النيتروزآمين Nitrosamine في الجهاز الهضمي للثدييات، إن النيتروزآمينات المسرطنة لا يصنعها النبات، حتى تحت ظروف إضافة نترات عالية (Hildebrandt (1979)). وقد وجد مؤخراً أن النترات NO_3^- والنتريت NO_2^- يمكن أنتاجها في الجهاز الهضمي للإنسان من الأحماض

الأمينية Amino acidsأو الامونياNH_3، ففي سنة 1978 أوضح (Tannenbaum et al.) أن الأخطار التي تسببها النتريت NO^-_2 ليست ناتجة فقط من النترات NO^-_3. بالرغم من أن النباتات التي يتم استهلاكها مباشرة كالأعشاب Herbage والخضراوات لا يجب أن يكون محتواها من النترات NO^-_3عالٍ جدا. ففي الخضراوات وخاصة السبانخ يكون محتواها من النترات حرج عندما يصل إلى 2 مليجرام NO_3-N لكل جرام مادة جافة. ويكون مقبولاً في محاصيل العلف عندما يصل محتواه إلى 4 مليجرام NO^-_3-N لكل جرام مادة جافة.

محتوى النترات في محاصيل العلف والخضراوات يعتمد بقدر كبير على مستوى التغذية بالنترات في مناطق زراعتها (أنظر الجدول 5.26).

إن معدلات إضافة النترات NO^-_3 الكبيرة في حدود 300 – 400 كجم نيتروجين / هـ ينتج عنها مستويات مرتفعة من النترات NO^-_3 في المادة النباتية (Lawrence et al. (1968)). (Nienstedt (1969)) و (Goswami and Willcox (1969)).

ومن ناحية أخرى، يجب الأخذ في الاعتبار أن ظروف نمو النبات تؤثر في محتواه من النترات NO^-_3. فشدة الضوء لها أهمية خاصة في هذا الجانب. فالسبانخ المزروع في الربيع تحت ظروف ضوئية ملائمة يكون محتواه من النترات NO^-_3 1 / 5 محتوى السبانخ المزروع في الخريف وقد يكون عشرة فقط (Knauer and Simon (1968)). يوضح الجدول 5. 26 تأثير شدة الضوء ومحتوى التربة من النترات NO^-_3 على مستوى النترات في السبانخ (Cantliffe (1973)).

إن تأثير شدة الضوء على اختزال النيترات NO^-_3 يكون غير مباشر طالما أن شدة

الإضاءة العالية ليس لها تأثير في غياب ثاني أكسيد الكربون CO_2.

يبدو واضحاً أن مراحل التمثيل الضوئي، وخاصةً جلسرلدهايد الفوسفور Phosphoglyceraldehyde لها علاقة باختزال النترات أكثر من شدة الضوء. ((Maynard et al. (1976)). محتوى أنسجة النبات من النترات يعتمد أيضاً على عمر النبات، ويكون عادةً مرتفعاً في النباتات الصغيرة عنه في الكبيرة.

إن سيقان وسويقات وعروق الخس والكرنب والخضراوات الأخرى عموماً تحتوي على كمية فترات أعلى من نسيج الميزوفيل Mesopyll ((Fritz (1977)). ويمكن القول إلى حد ما أن محتوى النترات تتحكم فيه العوامل الوراثية.

واستدل مينارد وزملاؤه 1976 ((Maynard et al. (1976)) بمثال يثبت أن محتوى أصناف الخس من النترات كانت علاقته بالمحتوى المائي إيجابية.

Table 5.26 Effect of nitrogen content in the soil and light intensity on the nitrate content in spinach (CANTLIFFE [1973])

mg N/kg soil	Light intensity	
	10,800 lux	32,300 lux
	% nitrate N in DM	
0	0.14	0.09
100	1.09	0.35
200	1.61	0.72

النترات الموجودة في الترب لا يكون دائماً مصدرها الأسمدة المعدنية ولكن تعتمد على أكسدة الكائنات الحية الدقيقة للنتروجين العضوي وتحويله إلى نيتريت NO^-_2 ونترات NO^-_3.

فالسماد المعدني لا يكون مسؤولاً دائماً عن المحتويات المرتفعة من النترات، أحياناً يوجد في الخضراوات أو محاصيل العلف. لقد قام (Maynard and Barker (1972)) بتحليل عدد من الخضراوات من حيث النترات وبمقارنة نتائجها بنتائج تحليل محتوى النترات في بداية القرن لنفس الخضراوات. وقد أوضحت هذه المقارنة عدم وجود فورقات رئيسية يبن محتويات النترات NO^{-}_{3} التي وجدت حالياً وتلك التي تم تحديدها أثناء استهلاك الأسمدة النيتروجينية المحتوية على النترات بصورة قليلة (أنظر 1.3.6). يوجد بحث قيم عن تحليل محتوى النترات في الخضراوات نشره (Maynard et al. (1976)).

إن محتوى محاصيل العلف والخضراوات والفواكه من الفيتامينات هي أيضاً أحد عوامل الجودة حيث وجد شير وبيرك Scharrer and Burke (1953) أن ارتفاع مستويات استخدام النيتروجين يرفع محتوى الكاروتين Carotene في عشب الجاودار ryegrass، ونتائج مشابهة عن الطماطم والجزر لوحظت عن طريق Ningsfeld and Forchthammer.

في تجارب أصص على الخضراوات وجد كل من شيرو ورنر Scharrer and Werner أن زيادة التغذية بالبوتاسيوم K قد رفع محتوى الخضراوات من فيتامين C، بينما زيادة التغذية بالنيتروجين كانت له نتائج معاكسة وهذه النتائج تم تأكيدها عن طريق بينجسفليد وفورشتامر Pennigsfeld and Forchthammer (1961) في كل من ثمار الطماطم وجذور الجزر.

إن وجود الثمار لا تعتمد فقط على محتواها من المكونات العضوية ولكن يؤخذ في الاعتبار حجم الثمار ولونها وشكلها وكذلك الطعم والرائحة، وهذه المميزات تتأثر بنقص

العناصر المغذية، فقد أجرى بينجسفليد وكورزمان (67 / 1966) Pennigsfeld and Kurzmann تجارب أصص على التفاح والكمثرى والبرقوق والكرز والعنب والتي أوضحت أن التغذية غير الكافية من البوتاسيوم والفوسفور أنتجت فواكه منخفضة الجودة وقد أنتجت ثمار صغيرة خضراء غير ناضجة وتحتوي على نسبة قليلة من السكريات والأحماض وذات طعم غير مستساغ.

عند إنتاج التفاح يجب المحافظة على مستوى كاف وميسر من الكالسيوم، وإذا لم يتم المحافظة على هذا المستوى فإنه سيصاب بمرض تعفن نقر الثمرة المر bitter pit (أنظر 11.2.4)، وهذا المرض يتميز بظهور بقع صغيرة بنية على الثمار وبداخلها نتيجة تحلل النسيج الثمري (اللوحة 1.11). ومثل هذه الثمار عادةً يكون محتواها من الكالسيوم منخفض (أقل من 200 جزء في المليون في المادة الجافة)، وقد يكون محتواها من البوتاسيوم والماغنيسيوم عالٍ.

يعتمد محتوى ثمار التفاح من الكالسيوم بدرجة كبيرة على ظروف النتح، لأن الكالسيوم يتميز بتحركه إلى الثمار غالباً مع تدفق تيار النتح، إذا كان معدل النتح كافٍ فإن تزويد ثمار التفاح بالكالسيوم Ca^{2++} يكون بصورة جيدة، إذا افترضنا أن الكالسيوم الذي يتم امتصاصه عن طريق الجذور غير معوق.

تحت ظروف نقص المياه تتنافس الأوراق والثمار على عصارة الخشب Xylem sap وفي هذه المنافسة تكون الأوراق أكثر كفاءة. وحسب ما جاء به ولكنسون (Wilkinson (1962 بأنه قد يكون هناك جريان رجعي لعصارة الخشب من الثمار بالأوراق

تحت الظروف المناخية الجافة جداً. وقد أوضح Bünemann and Lüdders (1969) أن مرض تعفن نقر الثمرة المر يتكرر أكثر عندما يزداد النمو الخضري ونمو الثمار، ومن المعروف أن الكالسيوم يفضل التحرك في الأنسجة الخضراء والنشطة النمو منها إلى الأنسجة التي تخزن، لذا فالنمو الخضري ينافس أنسجة التخزين على الكالسيوم المتيسر في النبات وتظهر أعراض نقص الكالسيوم على الثمار.

هذا التأثير قد يحدث بسبب المستويات المرتفعة من التغذية بالنيتروجين وهذا قد يؤيد الملاحظة المعروفة بأن المستويات العالية من أسمدة النيتروجين تسبب عدم انتظام الكالسيوم. الرش بأملاح الكالسيوم يمكن أن يستعمل لتخفيف الإصابة بمرض تعفن نقر الثمرة المر bitter pit ولكن هذه الأملاح غير ناجحة بصورة عامة. إذ يجب أخذ الكالسيوم من قبل الثمار ليكون له فائدة ولأنه مقيد الحركة في الأوراق.

إضافة الجبس أو أملاح الكالسيوم الأخرى إلى التربة يكون أكثر كفاءة لتجهيز الكالسيوم، لأن معظم الكالسيوم في ثمار التفاح يأتي من الجذور عن طريق تيار النتح transpiration stream.

وضع Shear (1975) قائمة بها 35 حالة لها علاقة بنقص الكالسيوم في الثمار والخضراوات، مما يوضح أن الثمار الأخرى والخضراوات تتأثر جودتها بظروف نقص الكالسيوم الموضعي داخل النبات وليس التفاحيات فقط.

يظهر مرض تعفن ثمار الطماطم Blossom and rot بسبب التزويد غير الكافي من الكالسيوم وهو يشبه مرض النقر المر bitter pit حسب ما جاء به Shear (1975). وهذا

المرض يسود أكثر عند مستويات التغذية العالية بالبوتاسيوم، وهذه العلاقة موضحة في الجدول رقم 5.27 عن فورستر ((Forster (1973).

ومن ناحية أخرى يجب تزويد الطماطم بالبوتاسيوم لمنع حدوث مرض الاخضرار الرجعي green back (Winsor 1966). هذا المرض يتميز بتأخر نضج الثمار مع انخفاض معدلات النيتروجين إلى الكالسيوم $^{N/}$Ca والبوتاسيوم إلى الكالسيوم Ca $^{K /}$ (مرسيل وبودس (Marcelle and Bodson .(1979). غالباً الأنسجة حول ساق الثمرة تبقى خضراء دائماً، بينما تكون الأجزاء من الثمرة حمراء مصفرة. الثمار المتأثرة بمرض الاخضرار الرجعي green back تكون صلبة وعديمة الطعم ولهذا السبب تكون رديئة الجودة. لاحظ عدد من الباحثين أن استخدام كميات وفيرة من البوتاسيوم يمنع أو على الأقل يخفض الاخضرار الرجعي في ثمار الطماطم (Winsor ,1966)، (Forster 1973) (Forster and Venter ,1975).

Table 5.27 Occurrence of greenback and blossom-end rot at tomato fruits in relation to the level of potassium nutrition (Forster [1973]) (Number of fruits/6 plants)

me K/l nutrient sol.	1	3	9
Greenback	82	2	0
Blossom-end rot	9	15	21
Healthy fruits	96	192	221
Total No. of fruits/6 plants	187	209	242

إن طعم ونكهة الثمار يمكن أن يتأثر إلى حد معين بالتغذية المعدنية. والعوامل الجوية والمناخية عموماً تلعب دوراً أكثر أهمية، وعلى سبيل المثال التفاح المزروع تحت ظروف عالية من الحرارة والضوء يكون أكثر حلاوة وأقل حموضة من نفس الأصناف المزروعة في ظروف باردة وأكثر رطوبة. شدة الإضاءة العالية عموماً تعمل على تكوين فيتامين C

(Schuphan 1961) ومكونات الطعم والنكهة مثل السكريات والأسترات والألدهيدات والكيتونات.

هذه المكونات وغيرها من المركبات لها تأثير مشترك على طعم الكثير من الثمار. عليه فالتوازن بين هذه المركبات مهم جداً. فالسكريات والأنيونات العضوية والأحماض العضوية هي المكونات الرئيسية التي تؤثر في جودة ثمار العنب. إن أجود أنواع العنب الأبيض يزرع تحت ظروف أكثر اعتدالاً وتكون الثمار منخفضة نسبياً في محتواها من السكر ومرتفعة المحتوى من الأحماض العضوية. من ناحية أخرى يحتاج العنب الأحمر إلى درجات حرارة عالية وشدة إضاءة مرافعة ليعطي طعماً ونكهة تواكب ارتفاع محتوى السكر الذي يكون مطلوباً لإنتاج نبيذ قوي (غني بالكحول).

النبيذ الأحمر يتميز بارتفاع محتواه من مادة (Tannins) التي لها تأثير في حفظ النبيذ ويتميز أيضاً بارتفاع محتواه من مادة (Othocyanins) التي تؤدي إلى احمرار اللون.

المنطقة التي تقع بين المناخ المعتدل لوسط أوروبا ومناخ البحر المتوسط تعطي أفضل ظروف لإنتاج أصناف النبيذ الأحمر، وخير مثال على ذلك ما وجد من أنواع نبيذ عالية الجودة أنتجت في منطقة Bordeaux (Claret) ومنطقة Burgundy. هذه الأنواع المشهورة من النبيذ ليست نتيجة لظروف النمو المناسبة فقط. فالتخمر والعمليات المعتمدة على الخبرة كان لها دور هام في طعم ونكهة النبيذ. خلال التخمر تتكون العديد من الخلطات التي ينتج منها الطعم والنكهة والجودة. يوضح الشكل 5.16 تخطيط للمذاق والنكهة للعديد من عصائر العنب قبل وبعد التخمر.

كما هو مبين من العدد الكبير في القمم من عينات النبيذ يتضح تكون عدد مناسب من مكونات الطعم خلال التخمر. (Rapp et al. 1971).

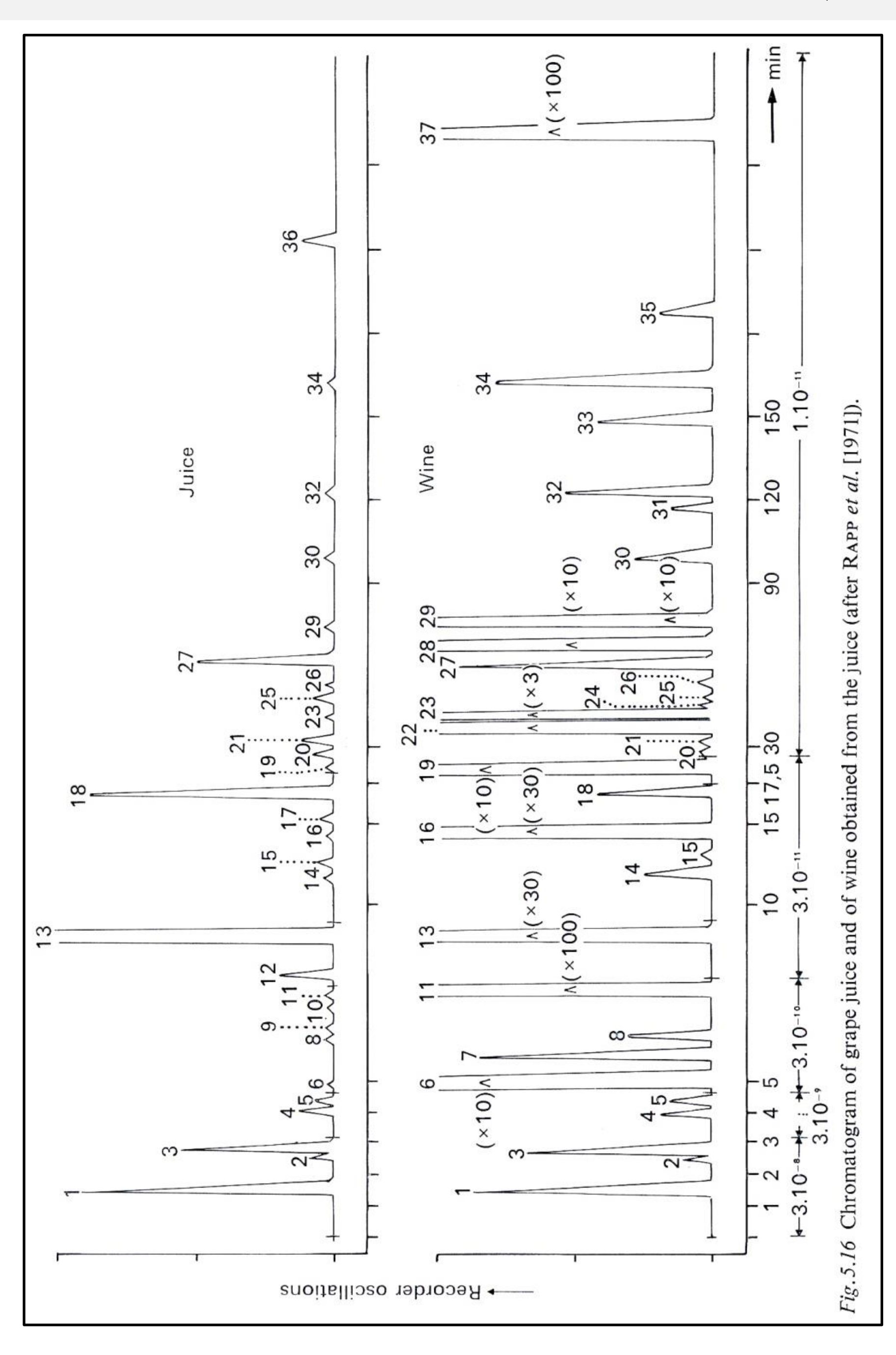


Fig.5.16 Chromatogram of grape juice and of wine obtained from the juice (after RAPP *et al.* [1971]).

قراءات عامة

General Reading

BURRIS, R.H. and BLACK, C.C., eds.: CO_2 Metabolism and Plant Productivity, Univ. Paul Press, Baltimore, London 1976.

CARLSON, P.S.: The Biology of Crop Productivity. Academic Press London, New York, San Francisco, 1980.

EVANS, L. T.: Crop physiology. Cambridge University Press 1975.

EVANS, L.T. and WARDLAW, J.F.: Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. Adv. Agron. 28, 301-359 (1976).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Fertilizer Use and Protein Production, Proc. 11th Coll. IPI Bern 1975.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Physiological Aspects in Crop Productivity. 15th Coil. IPI Bern 1980.

LOOMIS, R.S., WILLIAMS, W.A. and HALL, A. E.: Agricultural productivity. Ann. Rev. Plant Physiol. 22, 431-463 (1971).

MAYNARD, D.N., BARKER, A.V., MIN01TI, P.L. and PECK, N.H.: Nitrate accumulation in vegetables. Adv. Agron. 28, 71-118 (1976).

MICHAEL, G. and BERINGER, H.: The role of hormones in yield formation. In: Physiological Aspects in Crop productivity p. 85-116. 15th Coll. Int. Potash Inst. Bern 1980.

MOORE, T.C.: Biochemistry and Physiology of Plant Hormones. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.

SCHUPHAN, W.: Nutritional Values in Crops and Plants. Faber and Faber, London 1965.

U.S. PLANT SOIL and NUTRITIONAL LABORATORY STAFF: The effect of soils and fertilizers on the nutritional quality of plants. Agricultural Information Bulletin No. 299, U.S. Department of Agriculture 1965

WAREING, P.F. and COOPER, J.P.: Potential Crop Production. A case study. Heinemann Educational Books, 1971.

WARREN-WILSON, J.: Maximum yield potential, In: Transition from Extensive to Intensive Agriculture with Fertilizers. Proc. VII th Coll. Intern. Potash Institute, p.34-56, Berne 1969.

YOSHIDA, S.: Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant physiol., 23, 437-464 (1972).

الفصل السادس

استخدام الأسمدة

1.6 دورة التغذية : Nutrient Cycling

1.1.6 مقدمة عامة:

تعمل الجذور خلال فترة نموها كمجمع للعناصر الغذائية المتاحة لكي تستخدم في بناء المكونات العضوية للنبات. بعد انتهاء فترة النمو وبداية التحلل تنعكس العملية وتتحرر المغذيات في التربة من بقايا النبات المحلل. ليس من الضرورة أن تتحرر كل العناصر الغذائية التي أمتصها النبات خلال فترة النمو في التربة في نفس السنة.

في أشجار الغابات على سبيل المثال حوالي 10–20 % من بعض العناصر الممتصة خلال الموسم قد تبقى في اللحاء أثناء فصل الشتاء لتُستغل في فصل الربيع.

من جهة أخرى بعض المغذيات قد تفقد من النباتات النامية بتأثير الغسيل الناتج عن الأمطار. الأوراق القديمة تكون بصفة خاصة عرضة لفقد البوتاسيوم والصوديوم والكلور والنترات والفوسفات.

إن سريان المغذيات في الدورة بين التربة والنبات كما ذكر سلفاً تتحكم فيه عدة عوامل، فهي تعتمد بشكل خاص على شدة التجوية لحبيبات التربة وطبيعة مادة أصل التربة ومعدل غسيل مغذيات النبات من الطبقة السطحية للتربة.

عندما يكون معدل الغسيل عالياً وشدة التجوية منخفضة، فإن مغذيات النبات قد يتم غسلها من التربة بسرعة أعلى من معدل امتصاص النبات لها.

الترب التي يحدث فيها هذا يكون توازن مغذياتها سلبياً وتزداد حموضتها تدريجياً بسبب غسيل بيكربونات ونترات الكالسيوم والماغنيسيوم، وبذلك تصبح فقيرة في تيسر

مغذيات النبات وتظهر عليها خصائص الترب ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض والتي تكون منخفضة الفوسفات المتيسر وارتفاع مستويات الألومنيوم والمنجنيز الذائب، وتحدث إعاقة حادة أو تثبيط كامل لعمليات التثبيت النيتروجيني والنترته (أنظر 4.1.7) وتعتبر ترب Podzolic مثال جيد للصفات المذكورة أعلاه. هذه الترب وجدت في مناطق من العالم حيث كانت مادة الأصل تفتقر إلى مغذيات النبات وشدة الغسيل مرتفعة.

من ناحية أخرى عندما يكون اتزان المغذيات موجباً تتكون ترب خصبة بسبب التراكم المستمر لمغذيات النبات. والمثال التقليدي على هذه الأراضي الطبيعية الخصبة هو ترب Chernozem. فيما بين هذين المثالين المتطرفين قد تظهر ترب أخرى تكون وسطاً من حيث الاتزان الغذائي، بالطبع ليست كل الترب الايجابية في توازن مغذياتها النباتية تكون خصبة. فقد يحدث تراكم لملح سام كما في حالة الترب الملحية. (أنظر 6.2.2).

لقد أدى التطور الزراعي إلى اضطراب في توازن المغذيات النباتية في الترب. ففي أنظمة الزراعة القديمة كانت هناك نسبة عالية من مغذيات النبات مضمون رجوعها للتربة حيث يتم تسمين الحيوانات عن طريق الرعي المكثف على النباتات وبهذا يتم إرجاع نسبة عالية من مغذيات النبات للتربة على شكل فضلات. بالمثل معظم المحاصيل كانت تستهلك محلياً ويتم إرجاع العناصر المغذية للنبات إلى التربة في صورة سماد عضوي. إن الفقد الرئيسي للمغذيات في هذا النظام ينتج من الغسيل وكان يتم التغلب على هذا بإضافة الجير.

لقد تغير الوضع مع بداية ظهور الصناعة، فقد تم إزالة المغذيات النباتية من الدورة

بشكل مضطرد على شكل منتجات محاصيل وحيوان لسد الاحتياجات الغذائية للمدن النامية. فقد ازدادت كثافة وتخصصات الزراعة وتطورت التقنيات المستخدمة في الزراعة. كل هذا نتج عنه هوة واسعة في نقص المغذيات الأمر الذي تم تعويضه بإضافة المغذيات النباتية في صورة أسمدة معدنية.

وبهذه الطريقة يتم تعويض التوازن الغذائي بين المضاف والمنزوع من المغذيات النباتية. هذه الفكرة سبق التطرق إليها من قِبل Liebig (1841) عندما كتب "يجب أن نتذكر أنه كقاعدة أساسية للترب الزراعية، أن ما يؤخذ من التربة يجب أن يعود إليها بالكامل". إضافة إلى أن استخدام الأسمدة المعدنية قد حسن الحالة الغذائية للعديد من الترب التي كانت فقيرة في المغذيات النباتية وأقل قيمة زراعية.

المكونات الأساسية لاتزان المغذيات في الترب الزراعية موضحة في الشكل (1.6). اكتساب التربة للمغذيات يزداد بتحرر هذه المغذيات في التربة بعمليات التجوية والتمعدن، وبإضافة الأسمدة المعدنية والعضوية وتثبيت النيتروجين، إضافة إلى المغذيات الموجودة في المطر والثلج، إن عوامل الفقد الأساسية للمغذيات تأتي من حصاد المحصول والغسل والتطاير في صورة (N_2O, N_2, NH_3) والتعرية. هذه العوامل ستؤخذ في الاعتبار بالتفصيل.

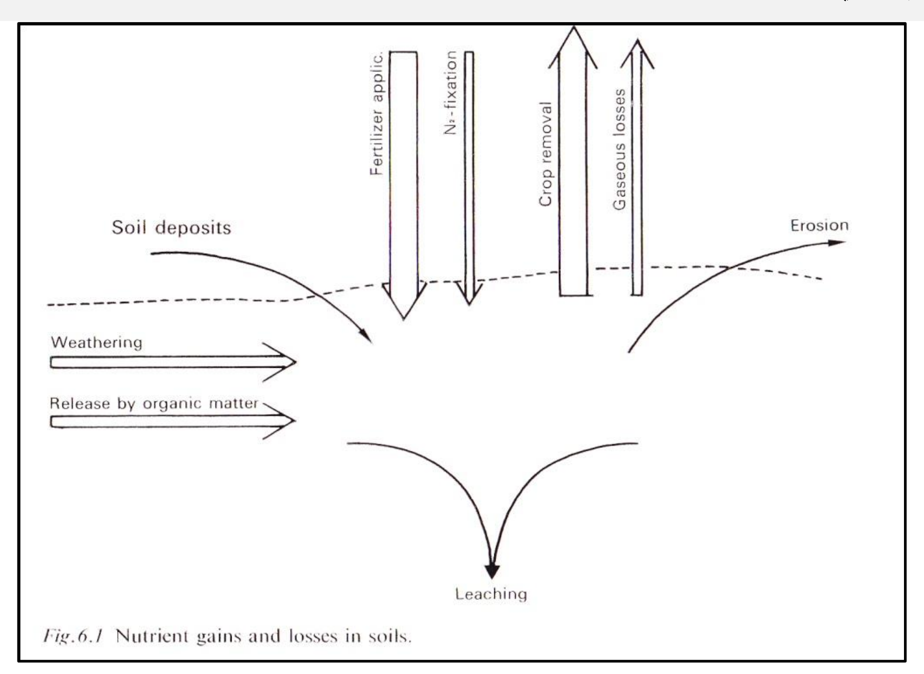


Fig.6.1 Nutrient gains and losses in soils.

2.1.6 استهلاك المحاصيل للمغذيات: Nutrient removal by crops

كمية المغذيات التي يمتصها المحصول خلال فترة نموه تعتمد كثيراً على نوع وإنتاجية المحصول، كذلك فإن كل من إنتاجية المحصول وامتصاص المغذيات يعتمد على اختيار صنف المحصول. وهذا موضح في البيانات في الجدول 1.6 الذي يبين امتصاص المغذيات بمحصول الأرز ((1972). Kemmler). إن الصنف ذو الإنتاجية العالية تكون احتياجاته الغذائية أكبر، وذلك لازدياد الجهد الإنتاجي.

Table 6.1 Yield level and nutrient uptake of a conventional local rice variety and the modern high yielding rice variety 'TN1' (KEMMLER [1972])

Cultivar	Grain yield Tonnes/ha	N	P kg/ha	K
Local	2.8	82	10	100
TN 1..	8.0	152	37	270

امتصاص المحاصيل المختلفة للمغذيات مبين بالجدول 2.6 وقيم مقارنة تم عرضها بالجدول رقم 3.6 لتوضح امتصاص معظم المحاصيل المزروعة للمغذيات. استهلاك المغذيات في هذه البيانات محسوباً على أساس الأجزاء النباتية المحصودة. نفس التطبيق للبيانات موجود بالجدول 4.6 الذي يبين استهلاك أشجار الفاكهة للمغذيات. في المحاصيل الحقلية أجزاء النبات التي لها أهمية زراعية هي فقط التي تؤخذ من الحقل مثل الحبوب والدرنات أو الجذور. وهذا يجب أخذه في الاعتبار عند حساب أتزان المغذيات. الحبوب الناضجة من المحاصيل Cereal Crops تحتوي على 70 % من النيتروجين والفوسفور لأجزاء النبات العلوية وأن معظم البوتاسيوم يوجد في الأجزاء النباتية الخضراء، وما يقارب 25 % من البوتاسيوم الكلي موجود في الحبوب غير أن الجذور والدرنات لمحاصيل الجذور (البطاطس وبنجر السكر) تحتوي فقط على حوالي 30 % من النيتروجين الكلي الممتص، وتحتوي على أكثر من 70 % من بوتاسيوم النبات الكلي.

Table 6.2 Quantities of plant nutrients removed by various crops (calculated from data of EAKIN [1972])

Crop	Yield tonnes/ha	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
		kg/ha						g/ha		
Grains										
Barley (Grain)	2.2	40	8	10	1	2	3	34	30	70
Barley (Straw)	2.5	17	3	30	9	2	5	11	360	60
Wheat (Grain)	2.7	56	13	14	1	7	3	33	100	160
Wheat (Straw)................	3.8	22	3	33	7	4	6	11	180	56
Oats (Grain)	2.9	55	10	14	2	3	6	34	134	56
Oats (Straw)	5.0	28	8	75	9	9	10	34	—	330
Maize (Grain)................	9.5	150	27	37	2	9	11	66	100	170
Maize (Straw)	11.0	110	19	135	29	22	16	55	1700	330
Hay										
Lucerne	10.0	200	20	170	125	24	21	66	500	470
Coastal Bermuda Grass	20.0	340	35	250	66	27	40	230	—	—
Red Clover	6.0	110	13	95	77	19	8	45	600	400
Timothy.....................	6.0	66	13	90	20	7	6	33	340	220
Other Crops										
Sugarcane	75.0	110	27	250	31	26	26	—	—	—
Tobacco (Leaves)	2.2	83	8	110	83	20	15	33	600	80
Cotton (Seed and Lint)	1.7	45	11	14	2	4	3	66	120	350
Cotton (Stalks, Leaves and Burs)	2.2	39	5	33	31	9	17	—	—	—
Potatoes (Tubers)............	27.0	90	15	140	3	7	7	44	100	60
Tomatoes (Fruit)	50.0	130	20	150	8	12	15	80	145	180
Cabbage	50.0	145	18	120	22	9	50	44	110	90

Table 6.3 Nutrient removal of plantation crops (COOKE [1974])

	Yield per hectare equivalent to	kg/ha				
		N	P	K	Ca	Mg
Oil palm	2.5 tonnes of oil	162	30	217	36	38
Sugar cane	88 tonnes of cane	45	25	121	—	—
Coconuts	1.4 tonnes of dry copra	62	17	56	6	12
Bananas	45 tonnes of fruit	78	22	224	—	—
Rubber	1.1 tonnes of dry rubber	7	1	4	—	—
Soyabeans	3.4 tonnes of grain	210	22	60	—	—
Coffee	1 tonne of made coffee	38	8	50	—	—
Tea	1300 kg of dried leaves	60	5	30	6	3

Table 6.4 Nutrient removal by fruit crops; medium yield, normal spacing (according to JACOB and VON UEXKÜLL [1963])

	kg/ha/year		
	N	P	K
Pome fruits	70	9	60
Stone fruits	85	9	65
Grapes	110	15	110
Oranges	170	23	120
Lemons	180	23	115

البيانات الموضحة في الجداول السابقة تعطي دليلاً عاماً فقط عن كميات المغذيات الممتصة من التربة عن طريق المحاصيل، وهي قد تختلف إلى حد كبير إضافةً إلى تأثير اختلافات الإنتاجية، فإن استخدام أصناف جديدة وتقنيات حديثة لها تأثيرات على الاحتياجات الغذائية للمحصول وبالتالي على كمية المغذيات التي يستهلكها المحصول.

البيانات ذات العلاقة باستهلاك المغذيات، ومعدلات إضافة الأسمدة التي تعطى على صورة تراكيب أكسيديه قديمة، مثل P_2O_5 أو K_2O كيلوجرام للهكتار. في وقتنا الحاضر أصبح شائعاً التعبير عن هذه القيم باستخدام مصطلح العنصر مثل، P أو k كيلوجرام للهكتار، هذه التسميات الحديثة استعملت في الجداول خلال هذا الفصل للاستدلال على كل من استهلاك المغذيات وفقدانها بالغسيل.

إن الفرق في الأرقام بين التسميتين ليس كبيراً في البوتاسيوم k ولحساب معدلات K_2O يتم ضرب بيانات k بمعامل قدره 1.2.

العوامل المناظرة لكل من P_2O_5 و MgO و CaO تكون على التوالي 2.29 و 1.66 و 1.4. من خلال هذه القيم يتضح أن الاختلافات في البيانات بين نموذج

المصطلحين بالنسبة للفوسفور هي الأكبر.

عند النظر إلى قيم الفوسفور في الجدول نجدها منخفضة فيجب أن نتذكر أن هذه القيم تعبر عن P وليس P_2O_5.

3.1.6 فقد المغذيات بالغسيل : Nutrient removal by leaching

إن المدى الذي تنتقل به المغذيات إلى أسفل في طبقات التربة يختلف بدرجة كبيرة بين أنواع الترب، ويعتمد هذا أساساً على المناخ ونوع التربة وكمية المغذيات الموجودة بصورة ذائبة في التربة. الترب التي تكون حرة التصريف عرضة لفقد المغذيات بالغسيل، والرشح يكون عالياً في مقاطع الترب السابقة تحت ظروف الأمطار الغزيرة.

فقدان المغذيات بالغسيل يكون أكثر وضوحاً في المناطق الاستوائية وفي المناطق المعتدلة الرطبة خاصةً في الترب ذات البنية الخفيفة. معدل الغسيل يكون عموماً مقاساً باستخدام الليزميترات Lysimeters التي يمكن بواسطتها تتبع سريان الماء والمغذيات خلال عمود التربة المشابه لذلك المقطع في التربةSoil Profile. بالرغم من أن حركة الماء في الترب الطبيعية تختلف عن حركة الماء في الليزوميترات المعروفة باحتوائها على مقطع تربة متكلف فيه artificial soil profile ومعدلات الغسيل التي يمكن الحصول عليها باستخدام الليزميترات تعطي دليلاً مفيداً يساعد في معرفة معدل فقدان المغذيات النباتية من التربة. تحت الظروف المناخية لوسط أوروبا وبمعدل سقوط أمطار حوالي 700 ملليميتر في السنة، نجد أن حوالي 25 – 50 % من ماء المطر يمر خلال مقطع التربة إلى عمق أكثر من متر واحد. الترب

الرملية تتميز بمعدل رشح عال بينما قيم الرشح المنخفضة دائماً تميز الترب الثقيلة.

كميات المغذيات المنقولة مع الماء في طبقات التربة العميقة موضحة بالجدول (5.6) (Vömel (1965/66). البيانات المعروضة هي القيم الأدنى والأعلى التي شوهدت لفترة 8 سنوات على ترب زراعية في ألمانيا وهي تتفق مع بيانات الغسيل في بريطانيا ((Cooke (1972). توضح البيانات أن معدل الرشح يكون أعلى في الترب الخفيفة وأقل في الترب الثقيلة التي يكون معدل الرشح بها منخفضاً.

جدول 5.6 غسل مغذيات النبات لا يعتمد فقط على معدل الرشح وعلى كمية المغذيات الموجودة في الطبقة السطحية للتربة ولكن توجد أهمية للشد والمدى الذي يربط المغذيات بحبيبات التربة، ويمكن ملاحظة ذلك في الجدول (5.6).

Table 6.5 Rates of leaching of plant nutrients from soils of different texture (VÖMEL [1965/66])

Soil	Clay content	kg/ha/year				
		N	K	Na	Ca	Mg
Sand	<3%	12–52	7–17	9–52	110–300	17–34
Sandy Loam	16%	0–27	0–14	1–69	0–242	0–37
Loam	28%	9–44	3– 8	11–45	21–176	9–61
Clay	39%	5–44	3– 8	9–42	72–341	10–54

على الرغم أن محتوى الصوديوم التبادلي في هذه الترب يكون أقل بكثير من محتوى البوتاسيوم التبادلي فإن معدلات الغسيل كانت أعلى للصوديوم، كل من كاتيونات الماغنيسيوم والصوديوم يكون إدمصاصها عن طريق الكالسيوم بالغرويات غير العضوية ضعيف، ولأن هذا الأيون يكون موجود في معظم الترب الزراعية بكميات كبيرة فإن معدل

غسله مرتفع جداً. من ناحية أخرى فالبوتاسيوم يمكن أن يرتبط بشدة بمعادن الطين من نوع 1:2 (أنظر 2.1.10). الترب الغنية بمثل هذه المعادن، تكون معدلات غسيل البوتاسيوم فيها منخفض نسبياً، ومعادن الطين من نوع الكولونايت Kaolinite لا تمتص البوتاسيوم اختياريا، لذلك يلاحظ ارتفاع غفي معدلات غسيل البوتاسيوم في هذه الترب ((Pedro (1973). الفوسفورر يعتبر من مغذيات النبات الرئيسية ويتم غسله بأقل معدل. لقد وجد (Cook and Williams (1970 أنه في أنواع الترب الثقيلة التي يتم تزويدها بسماد فوسفوري سنوياً بمعدل 33كيلوجرام / هكتار لمدة 100 سنة قد تخلل التربة لعمق 20 سم أسفل الطبقة المحروثة، وقد تم الحصول على نتائج مشابهة في الترب المغطاة بالحشائش شكل (2.6). إن معدل إزالة الفوسفور بالغسيل من الطبقة السطحية للترب المعدنية كان منخفضاً فقد وصل إلى 0 – 1.75 كيلوجرام فوسفور في الهكتار سنوياً (Dam Kofoed and (Linhard (1968) أما في الترب العضوية فمعدل غسيل الفوسفور عالياً لأن ارتباط الفوسفات بحبيبات التربة أقل قوة ((Munk (1972).

وعلى عكس الفوسفات ومغذيات النبات الكاتيونية التي تكون مرتبطة بشكل رئيسي بالعمليات الكيموفوسيولوجية Physio-Chemical، فإن حركة النيتروجين في التربة تعتمد بشكل كبير على العمليات الحيوية. يتم غسيل النيتروجين في صورة نترات No_3-N بشكل رئيسي ((Minderman and Leaflang (1968). لهذا فإن معدل تمعدن النيتروجين العضوي N إلى نترات No_3-N يؤثر في غسيل النيتروجين. أوضح (Pfaff (1963 أن

النيتروجين المغسول بأمطار الشتاء يكون منشأه الرئيسي النيتروجين العضوي المتمعدن خلال فصلي الخريف والشتاء. إن معدل غسيل النترات No_3-N تصبح عالية خاصةً إذا أضيف سماد عضوي خلال فصلي الخريف والشتاء.

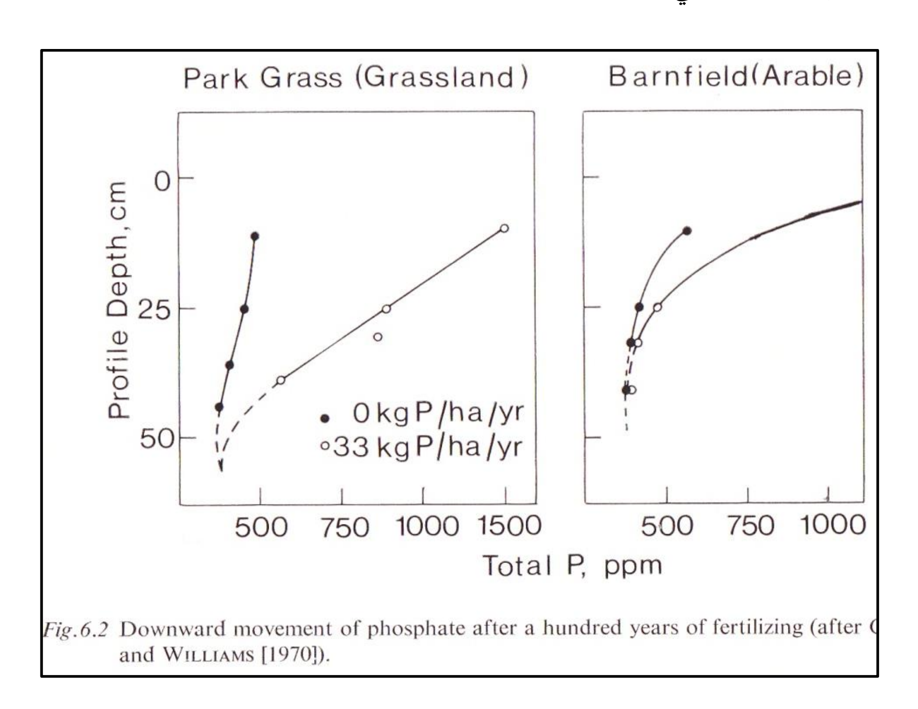


Fig.6.2 Downward movement of phosphate after a hundred years of fertilizing (after C and WILLIAMS [1970]).

إن غسل النترات No_3-N من قطاع التربة Profile تحت الظروف الأوروبية خلال فصل الصيف نادر الحدوث. حتى في الترب الرملية التي تكون فيها النترات عرضةً للغسيل يبقى أنتقال النترات خلال فصل الصيف إلى طبقات التربة السفلى لا يزال في متناول جذور النبات ((Dam Kofeod and Kjellerup (1970). هذه الملاحظة اتضحت بشكل جلي من خلال ما توصل إليه (1970) Ogus and Fox في العرض الموجود في جدول (6.6).

النتائج تقارن امتصاص النيتروجين عن طريق عشب Bromus inermis للنيتروجين الموضوع على أعماق مختلفة في التربة. وجد أنه حتى النيتروجين الموجود على عمق 60 سم قد أمتص أكثر من نصفه خلال فترة التجربة التي استمرت 50 يوماً. هذا الامتصاص المرتفع نسبياً ربما يحسب بمقارنة كمية النترات المنتقلة إلى أعلى في قطاع التربة. وهذا يعتمد على الظروف المناخية كثيراً. ففي مناطق المناخ المعتدل يحدث تبادل في فترات الرطوبة والجفاف خلال فصل الصيف، في فترات الجفاف تنتقل النترات معظم الوقت من طبقات التربة العميقة إلى الطبقات السطحية. وبما أن النترات متوفرة بغزارة في منطقة جذور النبات فإن ذلك يشجع المحصول على التغذية بالنيتروجين ((Harmsen (1959)). وقد أكد Nommik (1966) نفس الملاحظة حيث أوضح أن المحصول أسترجع إنتاجه بدرجة عالية بالنيتروجين المضاف في الموسم السابق.

Table 6.6 Uptake of nitrogen by *Bromis inermis* from nitrate fertilizer applied at different soil depths.
Application rate: 135 kg N/ha per soil layer in the form of $Ca(NO_3)_2$.
Duration of uptake 50 days (OGUS and FOX [1970])

Depth of nitrate application in cm	Uptake by *Bromus inermis* in kg N/ha
Surface	82
30	75
60	72
105	26
150	11

من ناحية أخرى قد يحدث غسيل للنترات في الترب الثقيلة التي بها تشققات تسمح

بحركة الماء رأسياً بمعدل مرتفع ((Shaw (1972). تحت الظروف المناخية المعتدلة مثل وسط أوروبا يمكن تجنب غسل نيتروجين التسميد على نطاق كبير إذا تمت إضافة النيتروجين في فصل الربيع أو الصيف ولكن ليس قبل الشتاء. ففي دراسة لتوازن النيتروجين في تجارب الليزوميتر باستخدام يوريا بها النيتروجين النظير N-15 قام بها Teske and Matzel (1976) وجد أن معدل الغسيل يتراوح بين 8.8–16.7 كيلوجرام/هكتار/السنة. ومن هذه الكمية 12– 15 % فقط يأتي من سماد النيتروجين.

كما سبق ذكره، فإن عملية غسيل المغذيات في التربة تتأثر بالغطاء النباتي، وفي الأراضي البور Fallow بالتحديد توجد معدلات عالية من الغسيل في غياب طلب المغذيات من قبل محاصيل نامية، وتكون هناك مزيداً من المغذيات الجاهزة للانتقال.

بالمثل فمعدل رشح الماء يكون عالياً أيضاً تحت ظروف الأراضي البور بسبب غياب الاحتياجات النباتية. الاختلافات في الغسيل بين التربة البور والمزروعة يمكن ملاحظته بوضوح في نتائج تجربة الليزومتر التي نفذها Coppenet (1969) تحت ظروف رطبة جداً في الساحل الأطلنطي لفرنسا.

نتائج هذه التجربة موضحة بالجدول (7.6) وقد أخذت من ملاحظات عن مدة تزيد عن 12 سنة. إن معدل غسيل كل المغذيات عالية ماعدا الفوسفور وذلك في الأراضي البور (حالة إزاحة التربة). الفروقات كانت واضحة خاصةً للنيتروجين والبوتاسيوم اللذين تحتاجها وتمتصها جذور النبات بمعدلات عالية جداً.

Table 6.7 Leaching rates of plant nutrients from a clay loam soil (18% clay) under fallow and cropped treatments (Coppenet [1969])

	kg nutrient ha/year	
	Fallow	Cropped
N	142	62
P	0.3	0.3
K	46	24
Ca	310	230
Mg	24	18

نوع المحصول قد يؤثر أيضاً في معدلات غسيل المغذيات من التربة. في النباتات التي تزرع على مسافات متباعدة مثل العنب والذرة يكون الفقد عموماً أعلى من تلك المحاصيل ذات الكثافة النباتية العالية. في أراضي الحشائش grassland أو المراعي يكون غسيل النيتروجين دائماً منخفضاً رغم أن معدلات عالية منه تتوفر في حالة وجود أنواع بقولية. ذلك تمت ملاحظته من خلال العمل الذي قام به Low and Armitage 1970 تحت الظروف المناخية البريطانية.

معدلات غسيل النيتروجين كانت مرتفعة خاصةً عند بداية تدهور مروج النفل الأبيض، كما هو واضح من بيانات الجدول (8.6).

إن حركة الأيونات في المحلول تتضمن انتقال الكاتيونات والأنيونات بكميات متكافئة.

أنواع الكاتيونات الرئيسية التي تنتقل في قطاع التربة هي Ca^{+2} و Mg^{+2} و Na^{+2} و K^{+} والأنيونات NO^{-}_{3}، HCO^{-3} و Cl^{-} و SO^{-2}_{4} . بالنسبة للترب التي تكونت في ظروف

مناخية رطبة فإن الأيونات Ca^{+2} و Mg^{+2} و NO^{-}_{3} وفي بعض الأحوال HCO هي التي تنتقل دائماً بكميات كبيرة. وسبق مناقشة هذا الموضوع في (4.3.2).

Table 6.8 Nitrogen leaching rates in relation to soil cover (Low and Armitage [1970])

Period	White clover kg N/ha/year	Grass	Fallow
1952–1953	27	1.8	114
1953–1954	26	1.3	113
1954–1955	60+)	3.9	105
1956	131++)	2.0	41

+) White clover dying out
++) White clover removed

وكما هو متوقع من هذه النتائج فإن الغسيل له دور متفاوت الدرجات في فقد مغذيات النبات في التربة، بالنسبة للفوسفور والبوتاسيوم يلعب الغسيل دوراً بسيطاً ولكن امتصاصها عن طريق النبات مهم جداً. أما بالنسبة لأيونات الصوديوم والكالسيوم والكبريتات يصل فقدها بالغسيل تحت الظروف الرطبة إلى أكثر من 50 % من الكمية المزالة الكلية (Dam Kofoed and Lindhard (1968)).

حركة الأيونات داخل طبقات التربة العميقة قد لا ينظر إليها فقط أنها فقدان للمغذيات بل أنها عملية تتم بها تجنب تراكم الأيونات في الطبقة السطحية للتربة، وبالتالي تجنب الملوحة. هذه الميزة لا تؤخذ في الاعتبار في المناطق المناخية الرطبة والتي يمكن فيها التحكم في الفقد الناتج عن غسيل مغذيات الأسمدة المستخدمة.

إن الحفاظ على المغذيات النباتية في الطبقات السطحية للتربة يعتبر مشكلة أساسية

فقط تحت الظروف الاستوائية حيث الأمطار غزيرة والتربة تكون غالباً عالية النفاذية، وتحت هذه الظروف يفضل استخدام الأسمدة بطيئة الذوبان Slow release fertilizers للتقليل من الفقد الناتج عن الغسيل.

إن أهم الأسمدة بطيئة الذوبان يمكن تجميعها في الأسمدة المغلفة أو الأسمدة العضوية. في السابق كانت الحبيبات مغلفة بغشاء ن البلاستيك أو الكبريت، وبعض الأسمدة تكون حبيباتها مغلفة بما يسمى الغلاف الأزموزي Osmocotes وهو يتحكم في تحرر المغذيات من الحبيبات نتيجة الضغط الأزموزي الداخلي للماء.

من أهم الأسمدة العضوية بطيئة الانطلاق (Urea Formaldehyde Polymers (UF) و (IBDU) Isobutylideneurea و(CDU) Crotonylidenediurea والهدف من الأسمدة بطيئة الانطلاق هو تنظيم انطلاق المغذي حسب طلب النبات، وهذا لا يتحقق دائماً. لقد توصل San Valentin et al. (1978) إلى إمكانية خفض فقد أيون البوتاسيوم بالغسيل بدرجة كبيرة عن طريق إضافة بوتاسيوم مغلف لتسميد نبات التبغ المزروع على ترب رملية. ومن ناحية أخرى فقد أكد Miner et al. (1978) أن معدل الانطلاق من الأسمدة بطيئة الانطلاق لا يمكن توقعه لأنها تأثر بنشاط الكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالتربة إضافةً إلى تأثرها بالعمليات الفيزيائية والكيميائية.

ولهذا السبب تعتبر هذه الأسمدة دائماً دون المستوى بالنسبة للأسمدة التقليدية. ولقد لفت النظر ما جاء في ورقة بحث قام به Oertli (1980) حيث ذكر أن نجاح استخدام

الأسمدة بطيئة الانطلاق يعتمد كثيراً على المناخ والظروف الجوية وكذلك نوع المحصول. وقد أقترح أنها سكون ذات فائدة في زراعة الصوبات ومع النباتات المزروعة في أصص وكذلك المحاصيل المزروعة تحت غطاء بلاستيك ومن المحتمل أن تستخدم في حقول الأرز.

وفي تجربة قام بها Terman and Allen (1970) (شكل 3.6) حيث تمت مقارنة أسمدة نيتروجينية مغلفة بالكبريت مع أسمدة نيتروجين فقط على ترب مزروعة وأخرى بور تحت ظروف مناخية رطبة. ففي الترب المزروعة بالأعشاب كان تأثير غسيل النيتروجين منخفض بغض النظر عن السماد المستخدم.

أما في معاملة التربة البور فقد كان هناك اختلافات واضحة بين محتويات الغسيل من النيتروجين. حيث وجد أن انخفاض معدلات النيتروجين المغسول من نوعي سماد اليوريا المغلف بالكبريت SCU-18 و SCU-6 مقارنةً بما يفقد من أسمدة النيتروجين المباشر يوضح أهمية تغليف الأسمدة. نفس النتائج تم التوصل إليها عند نغليف كلوريد البوتاسيوم بالكبريت من قبل Terman and Allen (1970).

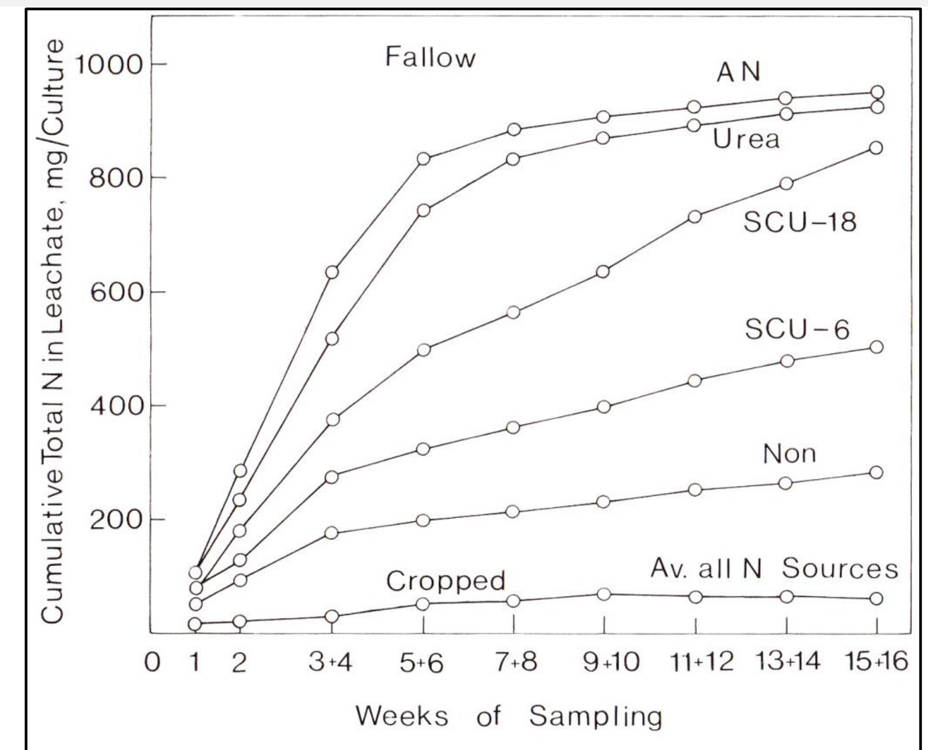


Fig.6.3 Cumulative average amounts of total N in leachates as affected by N source and cropping.
AN = ammonium nitrate, SCU = sulphur coated urea (after TERMAN and ALLEN [1970]).

4.1.6. التطاير والدنترة : Volatilization and denitrification

قد يفقد النيتروجين من التربة على شكل غازات ((Terman (1979) حيث يحدث فقد لكميات كبيرة من الأمونيا NH_4 عند إضافة أملاح الأمونيوم NH_4-Salts إلى الترب الكلسية. مثل هذه الترب ذات الرقم الهيدروجيني المرتفع لا يجب معاملتها بأملاح الأمونيوم، أو عند استخدام اليوريا على السطح ((Cooke (1972) .

أوضحت الدراسات الحديثة أن النباتات نفسها تطلق غاز النيتروجين في الهواء الجوي على شكل أمونيا NH_4. ومقدار معدل انطلاق الأمونيا يعتمد على تركيزها في الهواء الجوي، وعلى درجة الحرارة، وظروف التنفس، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة ومعدل التنفس تعمل على زيادة مقدار فقد النيتروجين. وحسب أبحاث Stutte (1979) على فول الصويا Soya beans تحت الظروف الحقلية قد تصل كمية فقد النيتروجين من المحصول إلى حوالي 45 كيلوجرام/هكتار/السنة تحت ظروف مرتفعة من الحرارة والتنفس. ذكر Lemon and Van Houtte (1980) بأن انطلاق وامتصاص الأمونيا بوساطة المحصول ينتج عنه نقل معنوي للنيتروجين من مواقع جوية مرتفعة في تركيز الأمونيا إلى مواقع جوية أقل تركيزاً في الأمونيا.

إن تراكيز الأمونيا في الهواء الجوي قد تختلف إلى حد واضح. وبناءً على هذه الملاحظات فالهواء النقي يحتوي على حوالي 3–5 ميكروجرام NH_3/م^3 في حين أن حقل الأعشاب الذي لم ترعه الماشية يكون تركيز الأمونيا عند قاعدة الغطاء النباتي Canopy حوالي 13.5 ميكروجرام NH_3/م^3 وفوق الغطاء النباتي حوالي 1 ميكروجرام NH_3/م^3 هذه النتائج توضح أن الأمونيا المتحررة من التربة كانت لحد بعيد قد أمتصها العشب.

قام الباحثان Lemon and Van Houtte (1980) أيضاً بتقدير تركيز الأمونيا NH_3 في مقطع للغلاف الجوي لمحيط محصول نامٍ خلال فترة النهار وفترة الليل ، كما هو مبين بالشكل 4.6، من الواضح أن تركيز الأمونيا في الهواء الجوي حول المحصول قد أنخفض كثيراً بسبب امتصاص النبات للأمونيا، فعملية امتصاص الأمونيا تحدث بشكل أساسي من خلال الثغور، ولذا فقد وجد ارتفاع في تركيز الأمونيا بين النباتات خلال الليل. إن ارتفاع هذه القيم قرب سطح التربة يدل على أن التربة هي المصدر الرئيسي للأمونيا. تحت الظروف اللاهوائية للتربة anaerobic soil يتم اختزال النترات إلى نيتروجين متطاير مثل غاز N_2 وأكسيد النيتروجين N_2O.

هذه العملية تتم بوساطة نشاط الكائنات الحية الدقيقة، وتعرف بعملية "الدنترة" Denitrification. وقد لاحظ Rolston (1977) أن نسبة N_2O الناتجة من عملية الدنترة وصلت حوالي 5% من النيتروجين المتحرر.

إن عملية تحويل النترات (الدنترة) تحث بسرعة تحت الظروف اللاهوائية حيث يتوفر مصدر الكربوهيدرات (الجذور والتبن وخلافه) للبكتريا المحللة للنترات.

وحسب ما ذكر Woldendorp (1968) فإنه حتى في أراضي الأعشاب يمكن أن يفقد ما نسبته 10–40% من النيتروجين المضاف بهذه العملية. والفقد بعملية الدنترة يحدث كذلك في الترب الزراعية Terman and Brown (1968).

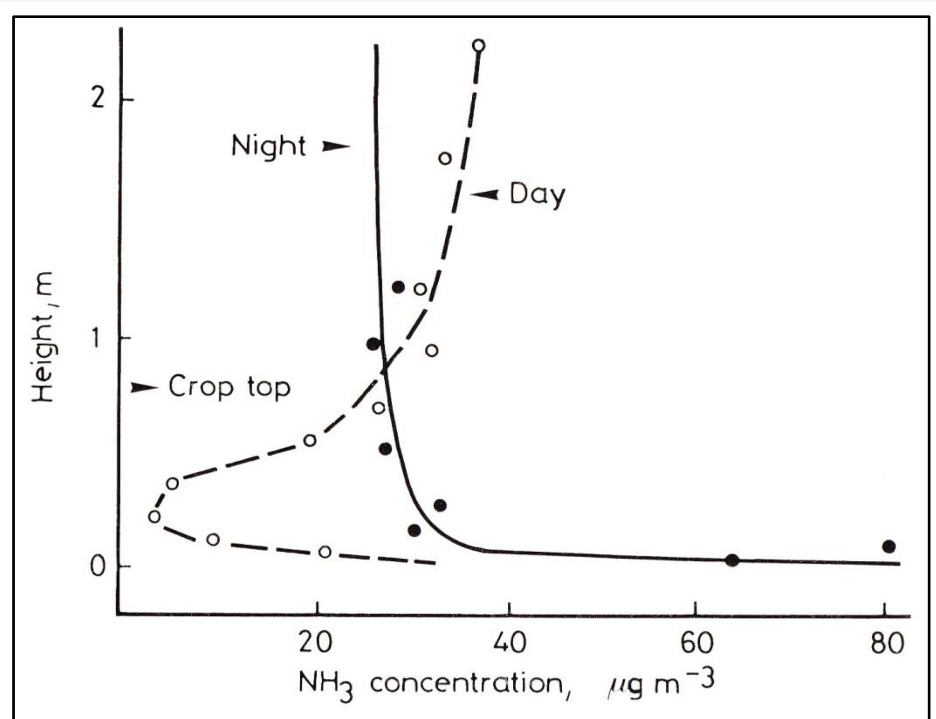


Fig.6.4 Vertical profile of atmospheric NH_3 concentration within and above a canopy of quackgrass *(Agropyron repens)* at night and day (modified after LEMON and VAN HOUTTE [1980]).

التربة المزروعة بالأرز تكون أكثر قابلية لحدوث هذه العملية لأنها تتميز بانخفاض ضغط الأكسجين الجزئي (Ponnamperuma (1965. ولهذا السبب لا يجب أن تمد تحت ظروف انخفاض الرقم الهيدروجيني (PH<4.5) غالباً ما تثبط عملية الدنترة بالكامل.

إن عملية الدنترة وفقد نيتروجين التربة بالغسيل يمكن التقليل من حدوثها باستخدام مثبطات النترتة ((Touchton et al. (1978)). سيتم التطرق إلى هذه المسألة بالتفصيل في (6.1.7).

5.1.6 التعرية Erosion

تعتبر التعرية عامل آخر من العوامل التي تسبب فقد مغذيات التربة. كميات كبيرة من التربة يمكن أن تزال بصفة دائمة من الترب الزراعية إلى الأنهار والبحيرات. وهذه الكمية تحتوي على نسبة عالية من حبيبات التربة الدقيقة وبذلك فإن كمية كبيرة من مغذيات النبات يمكن فقدها بهذه الطريقة. وتعتمد درجة التعرية على عدد من العوامل منها هطول الأمطار وشدتها، وتضاريس التربة المزروعة وبصفة خاصة الغطاء الموجود على التربة. وفي المناطق التي تكون فيها التعرية ذات أهمية، فإن فقد المغذيات النباتية قد يكون مرتفعاً. المغذيات المزالة من محطة تجارب التعرية بولاية ميسوري ذات الميل 4% تم توثيقها عن طريق Buckman aand Bredy (1969). عندما زرعت الذرة باستمرار كان الفقد السنوي حوالي 678 كيلوجرام بوتاسيوم/الهكتار. و246 كيلوجرام كالسيوم/الهكتار و 98 كيلوجرام ماغنيسيوم/الهكتار.

جميع هذه المستويات كانت مؤثر جيد لزيادة امتصاص المحاصيل الموسمي للمغذيات. معظم الترب التي ليست عرضة بدرجة كبيرة للتعرية يكون فقد المغذيات فيها قليلاً نسبياً ويصل تقريباً إلى بعض الكيلوجرامات بالهكتار ((Miller (1972).إن تأثيرات التعرية تكون أكثر وضوحاً تحت ظروف الأراضي البور.

6.1.6 التزويد بالمغذيات بوساطة الأمطار والغلاف الجوي

Nutrient supply by precipitation and atmosphere

من المعروف أن محتوى مياه الأمطار من المغذيات يمكن أن يساهم في تزويد المحاصيل بالمغذيات. فقد أجريت دراسة مكثفة عن محتوى الأمطار من المغذيات النباتية في أثنى عشر

موقعاً مختلفاً في النرويج عن طريق LÅG (1968). بيانات هذه الدراسة لأعلى وأقل كمية من الأمطار موضحة بالجدول 9.6.

موقع فاجامو Vágåmo الواقع في الجبال تميز بقلة الأمطار واحتوائها على كميات قليلة من المغذيات النباتية. أما الموقع لستا Lista فيه الوضع مختلف جداً حيث أنه يقع على الساحل الجنوبي للنرويج الذي يتميز بغزارة الأمطار التي تتأثر بدرجة كبيرة بمياه البحر وتكون غنية نسبياً بالأيونات غير العضوية خاصةً الصوديوم والكلور إلى جانب كميات وفيرة من الماغنيسيوم والكبريتيات.

إن محتوى مياه الأمطار من أيونات الصوديوم والكلور والماغنيسيوم ينخفض بالابتعاد عن المناطق الساحلية إلى الدواخل. عموماً هذه الملاحظة يظهر أن لها علاقة كبيرة بالظروف الاستوائية عندما يقتصر التوزيع الطبيعي لنخيل الزيت وجوز الهند على المناطق الساحلية. لقد أوضح OllAGNIR and OCHS (1971) أن هذه الأنواع بالأخص تحتاج إلى كميات كبيرة من الكلور.

Table 6.9 Amounts of plant nutrients supplied by precipitation on two Norwegian sites (LÅG [1968])

Location	Precipitation mm/year	kg/ha/year							
		S	Cl	NO_3–N	NH_3–N	Na	K	Mg	Ca
Vågåmo	294	0.9	0.4	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	1.2
Lista	1871	19.2	264	3.5	2.8	147	8.6	17.8	14.2

النتائج التي تم الحصول عليها من هذين الموقعين بالنرويج توضح التباين الكبير في

محتوى مياه الأمطار من المغذيات. ويجب التأكيد على أن الموقعين متطرفان في ظروفهما وبذلك لا يمكن أن يمثلا الواقع. إن متوسط كمية المغذيات التي توفرها مياه الأمطار موضحة بالجدول (9.6).

لقد وجد Riehm and Quellmalz (1959) أنه تحت ظروف وسط أوروبا فإن كمية المغذيات التي يوفرها الهواء الجوي ومياه الأمطار تتراوح من 1إلى 30 كيلوجرام/هكتار/السنة.

الجدول 10.6 يعطي متوسط قيم تم الحصول عليها من أربعة عشر موقعاً مختلفاً لعدة سنوات. باستثناء الكبريت والكلور فإن محتوى مياه الأمطار من كل المغذيات أقل من الكميات التي يحتاجها المحصول.

Table 6.10 Quantities of plant nutrients in the atmosphere and amounts supplied in precipitation under Central European conditions (RIEHM and QUELLMALZ [1959])

	mean values in kg/ha year							
	S	Cl	NO_3–N	NH_3–N	Na	K	Mg	Ca
Precipitation	8–13	4–6	1–3	2–4	2–4	1–2	2–3	8–16
Atmosphere	10–20	4–8	–	4–7	2–4	1–2	1–3	2– 5

هذا ينطبق على النيتروجين والبوتاسيوم حيث أن مياه الأمطار توفر فقط نسبة مئوية بسيطة من الاحتياجات الكلية للنبات. أما في حالة الكبريت فإن الغلاف الجوي غالباً ما يغطي احتياجات المحصول حتى في الزراعة المكثفة. إن مستويات سقوط الكبريت في صور SO^{2-}_4 في مياه الأمطار سنوياً تتبع في توزيعها مناطق تواجد الصناعة وخاصةً مناجم حرق

الفحم والنفط. إن تساقط 100 كيلوجرام كبريت/هـ/السنة مع مياه الأمطار بالمناطق الصناعية يعد أمراً اعتياديا.

في أوروبا الغربية بشكل عام يصل المعدل إلى 15 كيلوجرام كبريت/هـ/السنة. وهذا يكفي لنمو المحصول بالرغم من أن الكبريتات سهلة الغسيل من الترب.

وكما ذكر Pfaff (1963)، قد ينتج توازن سلبي للكبريت حتى في ترب المناطق ذات المستويات العالية نسبياً من الكبريت الذي مصدره الغلاف الجوي.

قد توجد نسبة عالية من الكبريت في الغلاف الجوي في صورة غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 الذي يمكن أن يستخدمه النبات مباشرة (De Cormis (1968), Faller et al. (1970)).

2.6 الأسمدة المعدنية والعضوية وتقنيات التسميد

Mineral Fertilizers , Manures and Fertilization Techniques

1.2.6 الأسمدة المعدنية Mineral Fertilizers

إن معدل إزالة المغذيات النباتية في العديد من الترب بوساطة امتصاص النبات والغسيل وعملية الدنترة يكون أكثر من انطلاق المغذيات بوساطة التجوية والتمعدن. لذلك تظهر موازنة سلبية في الترب ما لم تتم إضافة المغذيات على شكل أسمدة أو مواد عضوية للتغلب على الفرق في التوازن. عموماً ، كلما كانت كثافة النظام المحصولي الزراعي وإنتاجيته عالية كلما أستدعى ذلك إضافة كميات كبيرة من الأسمدة للمحافظة على خصوبة التربة. لذلك فإن استخدام الأسمدة غير العضوية في معظم الترب يكون غالباً ضرورياً، ولذا فإنه

يتوفر في الأسواق حالياً أنواع ذات درجات ومعدلات غذائية مختلفة. وليس الغرض من هذا الكتاب مناقشة هذه الأنواع بالتفصيل، ولكن سيكون هناك مسح مختصر عن أهم أنواع الأسمدة.

أكثر الأسمدة شهرة سيتم ذكرها في الفصول القادمة ويتم مناقشة كل عنصر مغذي للنبات على حده.

تحتاج المحاصيل للأسمدة المحتوية على المغذيات مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بكميات كبيرة ويمتصها النبات بسرعة. فالنيتروجين يعطى على صورة نترات أو أمونيوم أو يوريا. هناك أسمدة كثيرة تحتوي نيتروجين في صورة ليست سريعة الذوبان مثل فورمالدهيد اليوريا Urea Formaldehyde ويوريا أيزوبيوتيلدين Urea isobutylidene والتي تعد مصدر للنيتروجين بطيء الانطلاق.

الأسمدة الفوسفورية تحتوي أساساً على الفوسفور في شكل فوسفات. في عدد قليل من الأسمدة الفوسفورية يكون الفوسفور على صورة فوسفات. في عدد قليل من الأسمدة الفوسفورية يكون الفوسفور على صورة بولي فوسفات Polyphosphates.

هناك معيار مهم لأسمدة الفوسفور وهو القابلية للذوبان فعلى سبيل المثال أسمدة السوبرفوسفات تذوب في الماء بشكل جيد، لكن الصخور الفوسفاتية قابليتها للذوبان منخفضة. يضاف البوتاسيوم للترب أساساً في صورة كلوريدات أو كبريتات. بينما نترات البوتاسيوم وفوسفات البوتاسيوم المتعددة Potassium polyphosphates فهي تلعب دوراً

ثانوياً. أسمدة الكبريت يمكن الحصول عليها في صورة كبريتات على شكل كبريتات الأمونيوم، وسوبرفوسفات وكبريتات البوتاسيوم.

بالإضافة إلى أن هذه الأسمدة توفر الكبريت فهي أيضاً مصدر للنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم على التوالي. يضاف الكالسيوم والماغنيسيوم في صورة كبريتات أو كربونات أو أكاسيد، والمركبان الأخيران لهما تفاعل قاعدي alkaline ولذلك تستخدم لرفع الرقم الهيدروجيني للتربة.

على الرغم من أن معظم الأسمدة غير العضوية مثل كبريتات الأمونيوم ونترات الكالسيوم أو كلوريد البوتاسيوم هي أملاح ذات تفاعل متعادل إلا أنها يمكن أن تؤثر في الرقم الهيدروجيني للتربة بتفاعلها الفسيولوجي، فعند اختزال النترات بجذور النباتات أو بالأحياء الدقيقة Microorganisms فإنها تنتج أيون واحد من $OH^-(HCO^-_3)$ لكل أيون نترات مختزل NO^-_3. جزء من أيون$OH^-(HCO^-_3)$ ينطلق في منطقة انتشار الجذور وبذلك يزداد الرقم الهيدروجيني ((Kirkby and Mengel (1967). فلهذا السبب تعرف أسمدة النترات بكونها قاعدية فسيولوجيا Physiologically alkaline ولكن الأمونيوم NH^+_4 يحدث العكس. فعند امتصاص NH_4-N ينتج عنه انطلاق أيون الهيدروجينH^+

$$NH^+_4 \leftrightarrows NH_3 + H^+$$

أسمدة الأمونيوم مثل كبريتات الأمونيوم لها تأثير فسيولوجي حامضي. وأسمدة البوتاسيوم مثل كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم يميل التفاعل إلى التعادل.

تسمى الأسمدة المحتوية على أحد العناصر المغذية الأساسية للنبات وهي النيتروجين

والفوسفور والبوتاسيوم بالأسمدة الصرفة Straight Fertilizers .

من الأمثلة النموذجية لهذه الأسمدة Super phosphate (P) و Muriate of potash (K) و ammonium nitrate (N) وخليط من نترات الأمونيوم مع كربونات الكالسيوم (N) الذي يطلق عليه نيتروجين طباشيري Nitro-Chalk. تحتوي الأسمدة المركبة والمخلوطة على أثنين أو ثلاثة من المغذيات الرئيسية وهي النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وهذه الأسمدة عموماً تختلف في نسب هذه المغذيات. فعلى سبيل المثال فالمركب الذي يحوي هذه العناصر الثلاثة بنسب 15-15-15 يعني أن نسبة $N:P_2O_5:K_2O$ متساوية (1:1:1) وأن تركيز هذه المغذيات في السماد المركب تكون (15% K_2O, 15% P_2O_5, 15% N). وكما هو واضح بهذا المثال، فإن محتوى الأسمدة المركبة والصرفة من المغذيات يتم تقديره بنسب K_2O% و P_2O_5 وليس كنسبة مئوية للعنصر.

2.2.6 الأسمدة العضوية وبقايا المحصول Organic manures and crop residues

الأسمدة العضوية ناتجة أساساً من الفضلات وبقايا النبات ومخلفات الحيوان وهي غنية بالماء ومركبات الكربون ولكنها فقيرة نسبياً في المغذيات النباتية. أحد الأسمدة العضوية الهامة هو السماد البلدي Farmyard manure (FYM) فهو خليط من تبن متحلل جزئياً مع فضلات الحيوانات (Faeces and urine).

في السنوات الأخيرة انخفض استخدام FYM كطريقة حديثة في إدارة وتربية الحيوانات مما أدى إلى قلة أو عدم إضافة القش إلى سطح التربة كفرش لها وهو أساس

السماد البلدي. وبذلك زادت فضلات الإنتاج الحيواني.

محتوى الأسمدة العضوية من المغذيات يمكن أن يختلف كثيراً، وهذا يعتمد على مصدرها ومحتواها من الرطوبة. والجدول (11.6) يبين بعض متوسطات المغذيات في الأسمدة العضوية، حيث يتضح أن الكميات النسبية للمغذيات الرئيسية تختلف بدرجة كبيرة. فالسماد البلدي يكون فقيراً في الفوسفور لاحتوائه على نسبة عالية من القش، أما مخلفات المجاري Sewage sludge فهي منخفضة في البوتاسيوم لأنه يفقد خلال تحضر هذا النوع من السماد.

يصعب تقييم محتوى أسمدة الفضلات من المغذيات لأنها تختلف في محتواها المائي. ولهذا السبب فقد أقترح Vetter and Klasink (1977) طريقة لحساب كمية مغذيات النبات التي تنتجها حيوانات المزرعة على أساس عددها. حيث أعتبر أن وحدة سماد حيواني واحدة تمثل بقرة واحدة أو 7 خنازير بالغة أو 200 دجاجة. فالوحدة تنتج تقريباً نفس الكمية من مغذيات النبات.

Table 6.11 Nutrient content of organic manures

	Mosture %	% of the fresh matter				
		N	P	K	Ca	Mg
Farmyard manure	76	0.50	0.11	0.54	0.42	0.11
Cattle slurry	93	0.31	0.07	0.32	0.11	0.04
Pig slurry	97	0.20	0.10	0.20	–	–
Sewage sludge	55	0.83	0.22	0.04	0.07	–

الجدول (12.6) يوضح كمية المغذيات النباتية المنتجة في فترة سنة مقدرة بوحدة

السماد الحيواني. فيمكن ملاحظة أن كمية النيتروجين المنتجة في الوحدة الواحدة تكون متشابهة لمجموعات الحيوانات الثلاثة، لكن هناك اختلافات في إنتاج البوتاسيوم والفوسفور والماغنيسيوم نتيجة الاختلاف في تغذية هذه الحيوانات. الأعلاف الخشنة Roughages والخضراء Green Fodder تكون غنية بالبوتاسيوم، وعليه فهذه المواد ترفع نسبياً محتوى الفضلات الحيوانية Slurries من البوتاسيوم . من ناحية أخرى فمحاصيل الحبوب غنية بالفوسفور وبما أنها هي غذاء الدجاج والخنازير بشكل كبير نسبياً فإن فضلاتها ستكون عالية التركيز في الفوسفور.

في مناطق التربية المكثفة للحيوانات تنتج كميات كبيرة من السماد العضوي تؤدي إلى فرط التسميد للترب Overfertilization وهذا ينتج عنه مشاكل تلوث (Fürchtenicht et al. (1978)).

Table 6.12 Amounts of plant nutrients excreted by 'one animal manure unit' per year (Vetter and Klasink [1977])

	N kg/year	P	K	Mg
Cattle (1 animal)	77	18	90	6.6
Pigs (7 animals)	75	29	34	5.4
Poultry (200 animals)	80	32	32	4.2

إن قيمة الأسمدة العضوية لا يمكن تقديرها بسهولة بتحليل محتواها الكلي من مغذيات النبات. وتيسر المغذيات للمحاصيل له أهمية كبيرة وهذا لا يمكن تحديده إلاَّ

بالتجارب الحقلية. معظم النيتروجين في الأسمدة العضوية يوجد في صورة مركبات عضوية. ففي بول الحيوانات يوجد كيوريا وفي فضلات الدجاج يوجد كحامض اليوريك Uric acid. النيتروجين يكون سريع التيسر للنبات من هذين المصدرين. المركبات العضوية المحتوية على النيتروجين في الأسمدة البلدية تكون أكثر مقاومة للتحلل والنيتروجين الذي يتحرر منها بسهولة يمثل ثلث محتواها منه ((Cooke (1972). والمتبقي منه يبقى في التربة لفترة طويلة.

ناقش (Sluijsmans and Kolenbrander (1977 تيسر النيتروجين في السماد العضوي. هؤلاء الباحثين أكدوا على أن التأثير المباشر لنيتروجين المادة العضوية يعتمد على محتواها من المعادن واليوريا. هذه الكمية تصل إلى حوالي 10% من النيتروجين الكلي في السماد البلدي، في حين أن نصف النيتروجين الكلي في فضلات الحيوانات يتكون من النيتروجين المعدني واليوريا. هذا الجزء يكون تيسره للنباتات سهلاً وكفاءته عالية كسماد بلدي نيتروجيني معدني. أما النيتروجين المتبقي في السماد البلدي له طبيعة عضوية ولا تتم معدنته إلاَّ في التربة تدريجياً وبشكل طبيعي. الفوسفور يوجد غالباً في السماد البلدي في صورة عضوية وحوالي نصف كمية الفوسفور العضوي الكلية تصبح ميسرة للمحاصيل بشكل سريع، على عكس المغذيات الرئيسية الأخرى، فمعظم البوتاسيوم يكون ذائباً في الماء كأيون بوتاسيوم (K^+) وبذلك يكون ميسراً للنبات.

ذكر (Cooke (1972 أنه في خالات مختلفة فإن كمية 25 طن/هـ من السماد البلدي تزود المحصول قي السنة الأولى بمقدار 40 كجم نيتروجين و20 كجم فوسفور و80 كجم بوتاسيوم. وهي لا تتوفر الكمية الكافية من النيتروجين الذي تمتصه أغلب المحصول

للوصول إلى متوسط الإنتاجية. وهذا ينطبق على البوتاسيوم باستثناء حالات تسميد محاصيل الحبوب. (أنظر الجدول 2.6).

إن معدل تحلل المادة العضوية في التربة يعتمد بدرجة كبيرة على نوع المادة العضوية وخاصةً على نسبة المواد غير القابلة للتحلل المائي، وهذه نسبياً عالية في السماد البلدي ومنخفضة في السماد الأخضر وتكون بين الاثنين في التبن. يبين الشكل 5.6 تحلل المواد العضوية الثلاثة على فترة 8 سنوات ((Sluijmans and Kolenbrander (1977).

إن من الواضح أن 80% من بقايا النباتات الخضراء أي أوراق بنجر السكر قد تحللت خلال السنة الأولى من إضافتها. من جهة أخرى تحلل حوالي 50% من السماد البلدي و60% من التبن في نفس الفترة. بخصوص خصوبة التربة، فإن معظم الفائدة الناتجة عن استخدام السماد البلدي تأتي من التأثيرات المتراكمة للتسميد المتكرر في تحسين بنية التربة. بالإضافة إلى بناء التربة، فإن استمرار إضافة السماد البلدي لهذه التربة يعمل على تحسين قدرتها على التزويد بالنيتروجين وعليه فإن إضافة السماد البلدي قد تكون أجدر من إضافة السماد المعدني ((Cooke (1977).

إن فائدة إضافة التبن إلى الترب غير مؤكدة. فالمغذيات النباتية الموجودة فيه كالبوتاسيوم والفوسفور تعتبر متيسرة. ومع ذلك فإن إضافة التبن يمكن أن يؤثر بدرجة كبيرة في تحويل النيتروجين في التربة ويؤدي غالباً إلى انخفاض في النيتروجين الميسر. ويجرى التأكيد دائماً على أن سبب حدوث ذلك أنه أثناء تحلل التبن يتم تثبيت النيتروجين غير العضوي في

صورة عضوية بوساطة الكائنات الحية الدقيقة في التربة (Terman and Brown (1968),Myers and Paul (1971)).

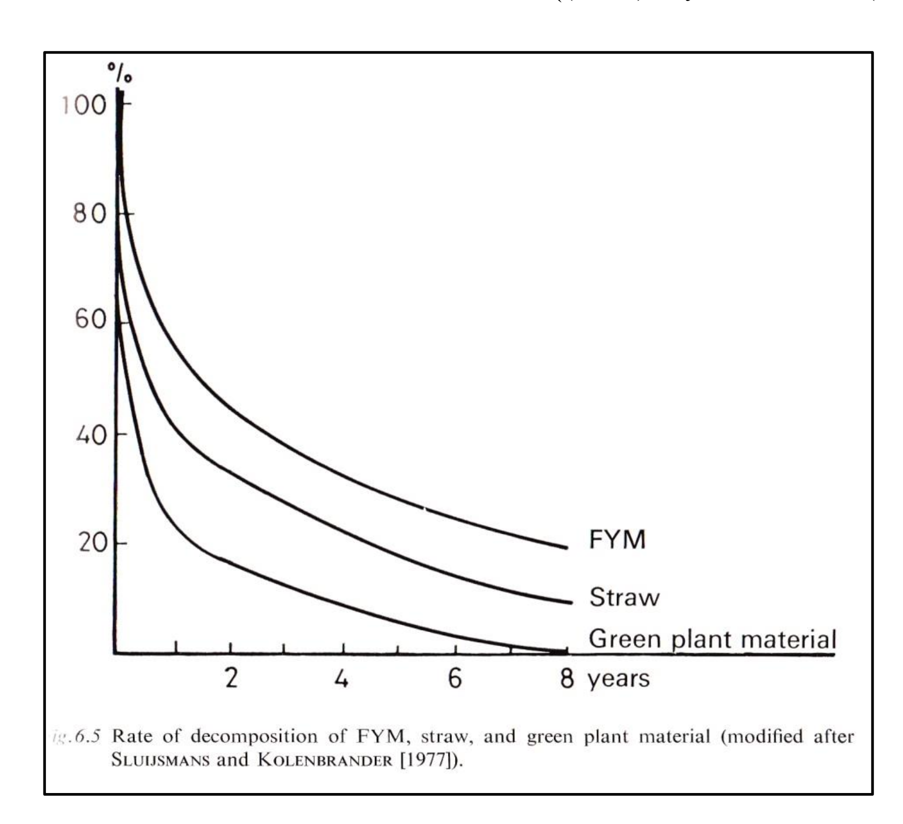


Fig.6.5 Rate of decomposition of FYM, straw, and green plant material (modified after SLUIJSMANS and KOLENBRANDER [1977]).

وفي ضوء نتائج الأبحاث الحديثة، لا يمكن التأكيد على أن السبب الرئيسي لنقص تيسر النيتروجين بعد إضافة التبن هو تقييد النيتروجين N-immobilization وقد وجد Ganry et al. (1978) أن إضافة تبن الدخن Pearl millet أدى إلى فقد كبير في النيتروجين بسبب عملية الدنترة Denitrification.

هناك نتائج مشابهة توصل إليها Guiraud and Berlier (1969). قارن

Biederbeck et al. (1980) بين إضافة التبن وحرقه لفترة قدرها 20 سنة تحت الظروف البيئية لمنطقة Saskatchewan، وقد وجدوا أن حراثة التبن في التربة في فصل الربيع تعمل على تحسين تركيبها وتعمل على التقليل من مخاطر التعرية مقارنةً بمعاملة حرق التبن. وحرق التبن من جهة أخرى يعمل على زيادة الفوسفات الميسر والأمونيوم NH^{+}_{4} المتبادل في التربة، إن معاملات حرق التبن أعطت ارتفاعاً في الإنتاجية مقارنةً بمعاملات إضافة التبن فقط بالرغم من أن الفروقات بين المعاملتين غير معنوية.

أجرى الباحثان Bachthaler and Wagner (1973) تجربة لإضافة التبن في مناطق مختلفة في Bavaria وقد أوضحا أن إضافة التبن إلى ترب ذات نشاط حيوي دقيق تعمل على زيادة إنتاجية المحصول بشكل عام. بالنسبة للترب الباردة أو الجافة، فإن إضافة التبن تعمل دائماً على انخفاض الإنتاجية.

في هذا السياق فإن ما وجده Graff and KÜhn (1977) له أهميته، فقد أكدا على أن التأثير الضار لإضافة التبن على الإنتاجية يقل كثيراً إذا ما تم تحلل التبن بوساطة ديدان الأرض.

3.2.6 الأسمدة السائلة : Liquid fertilizers

في السنوات الأخيرة أصبح استخدام الأسمدة السائلة Fluids أكثر شيوعاً. والمصطلح Fluid يضم السوائل Liquids وهي التي يكون فيها السماد ذائباً بالكامل ويضم المعلقات Suspensions وهي التي يوجد فيها السماد على شكل معلق. الأسمدة السائلة

تكون أسها في النقل من الأسمدة الصلبة وتحتاج إلى أقل أيدي عاملة في النقل والاستعمال، وعند إضافتها إلى التربة تكون متجانسة ومتساوية في التوزيع. أكثر الأسمدة النيتروجينية السائلة أهمية هي الأمونيا اللامائية Anhydrous ammonia والأمونيا المائية aqueous . الأمونيا اللامائية من أبسط الأسمدة النيتروجينية السائلة فهو يتكون من NH_3 موجودة بصورة سائلة تحت ضغط، الأمونيا اللامائية تحتوي على نسبة عالية من النيتروجين تصل إلى 82% وهذا التركيز العالي يعتبر ميزة إيجابية من حيث تكلفة النقل. من ناحية أخرى فالأسمدة السائلة التي تكون تحت ضغط تتطلب احتياجات خاصة وأدوات معينة في نقلها واستعمالها. فلهذا توجد محاذير عند استعمالها.

عند إضافة الأسمدة السائلة للتربة توضع على عمق 15 – 20 سم وذلك بحقنها بطريقة خاصة لتجنب فقد الأمونيا بالتطاير.

الأمونيا المائية هي محلول يحتوي على 25% أمونيا NH_3 ويكون تحت ضغط منخفض جداً لذلك فهذا يجعل التعامل معه سهلاً ولا يحتاج معدات وأجهزة باهظة الثمن لإضافته. كما هو الحال مع استعمال الأسمدة اللامائية.

يجب أن يكون معلوماً أن الأمونيا المائية سماد منخفض المحتوى من النيتروجين فهو يتراوح بين21 – 29 % وأن استعماله يكون تحت سطح التربة لتجنب تطاير الأمونيا.

في السنوات الأخيرة استطاعت هيئة وادي تنيسي (TVA) الأمريكية تطوير المحاليل النيتروجينية. فالمحاليل المنخفضة الضغط تصنع من اليوريا والأمونيا ونترات الأمونيوم وبها ما يعادل 30–40% نيتروجين، وهي تتميز عن الأمونيا المائية بأنها أكثر تركيزاً وأسهل تداولاً.

والمحاليل التي لا يوجد بها ضغط تصنع مباشرةً من اليوريا ونترات الأمونيوم وبها ما يعادل أقل من 30 % نيتروجين. واستعمال كل من اليوريا ونترات الأمونيوم معاً في المحلول يعتمد على الحقيقة التي مفادها أن خليطاً من هذه الأسمدة له قابلية ذوبان أعلى من كل منهما على حده.

المحاليل المحتوية على الفوسفور والنيتروجين قد استعملت في أمريكا منذ بداية الستينات. محاليل النيتروجين والفوسفور هذه كانت بداية صناعتها عن طريق معادلة حمض الأرثوفوسفوريك Orthophosphoric acid مع ملح الأمونيوم لينتج فوسفات أحادي وثنائي الأمونيوم؛ والمحاليل العيارية الناتجة من هذه الطريقة كانت تحتوي على 0–24–8 (8% N, 24%P_2O_5, 0%K_2O).

في الوقت الحاضر أصبح من الممكن صناعة وتصدير أسمدة ذات درجة عالية وذلك باستبدال الفوسفات المتعدد Polyphosphate بالأرثوفوسفات Orthophosphates إن المكون الأساسي لهذه المحاليل هو حمض السوبر فوسفوريك Super phosphoric ويتميز بارتفاع محتواه من خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5 وينصع من حمض الأرثوفوسفوريك وسلسلة من الأحماض المتعددة الفوسفور polyphosphoric acid. وتعتمد نسب كل منها على التركيز الكلي لخامس أكسيد الفوسفور P_2O_5، فكلما زاد هذا التركيز زادت نسبة الأحماض طويلة السلسلة وأنخفض محتوى حمض الأرثو Ortho acid. وهذا موضح بالشكل 6.6 (Slack (1967)).

يعادل حامض سوبرفوسفوريك بإضافة أيونات الأمونيوم (ammoniation) ويمكن الحصول على محاليل النيتروجين والفوسفور بنسب 0-34-10 و0-37-11 وذلك يعتمد على محتوى حمض السوبر فوسفوريك المستخدم من الفوسفور.

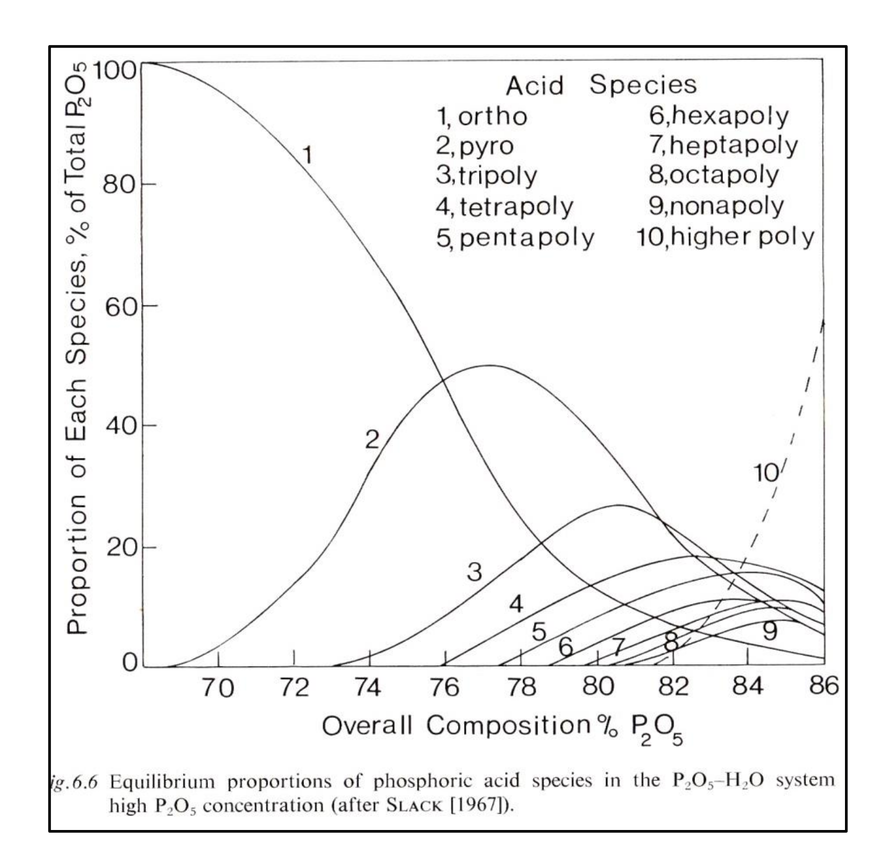
هذه النسب تكون على أساس وضع الأملاح المصنعة عند درجة حرارة الصفر المئوي التي تتم عندها عملية التبلر في السماد Crystalization.

بنسب نيتروجين عالية يتم تجهيز محاليل النيتروجين والفوسفور بخلط اليوريا المذابة مع نترات الأمونيوم (28-32% نيتروجين). ولهذا يمكن الحصول على محاليل ذات نسب متفاوتة من النيتروجين والفوسفور. تميل مركبات الفوسفات المتعددة إلى الارتباط بالمعادن الثقيلة والماغنيسيوم. وهذه ميزة إيجابية لمحاليل النيتروجين والفوسفور التي أساس صناعتها حمض السوبر فوسفوريك. لأن الماغنيسيوم والحديد أو أي معادن أخرى تحتوي على شوائب لا ينتج عنها ترسيب للفوسفات. بينما ولسوء الحظ عند إضافة كلوريد البوتاسيوم إلى محاليل النيتروجين والفوسفور ينتج عنها ترسيب للفوسفات، في المحاليل المحتوية على نترات تؤدي إلى وجود نترات البوتاسيوم المتبلرة. وكما ذكر Hignett (1971) أن محاليل الأسمدة

للحصول على أسمدة NPK المحتوية على نترات تصل أعلى درجة (N, 7%P2O5, 7%K2O%7) 7-7-7، بينما المحاليل المحتوية على يوريا فقط يمكن الحصول على درجة 9-9-9 عند درجة حرارة ْC0. ويصعب تجهيز أسمدة NPK ملائمة بإضافة كلوريد البوتاسيوم.

يمكن الحصول على محاليل بوتاسيوم وفوسفور ذات جودة عالية بمعادلة حامض

سوبرفوسفوريك مع هيدروكسيد البوتاسيوم KOH. ونظراً لارتفاع سعر KOH فإن استخدامه



ig. 6.6 Equilibrium proportions of phosphoric acid species in the P_2O_5–H_2O system high P_2O_5 concentration (after SLACK [1967]).

في إنتاج الأسمدة السائلة يجعل تكاليف إنتاجها عالية مما يؤدي إلى التراجع في استخدامها، ولهذا السبب فإن أغلب المزارعين يستخدمون الأسمدة السائلة التي على صورة محاليل نيتروجينية ومحاليل نيتروجين وفوسفورية. أما البوتاسيوم فيضاف في شكل أسمدة صلبة. لقد أجريت بعض الدراسات لتطوير معلقات بها بلورات ناعمة منفصلة من كلوريد

البوتاسيوم ويتم تثبيتها بإضافة الطين بنسبة (1–3% معامل تعليق).

كما ذكر Slack (1967) فإن النسبة العالية في مدى 15–15–15 و10–30–10 يمكن الحصول عليها بهذه التقنية. معلقات الفضلات (Slurries) ليس من السهل التعامل معها وبذلك يكون استعمالها محدوداً.

الأسمدة السائلة أسهل تداولاً واستعمالاً من الأسمدة الصلبة إذا ما توفرت الأدوات والمعدات الملائمة للرش والإضافة. وإذا ما لامست هذه الأسمدة السائلة التربة فإنها تسلك نفس سلوك الأسمدة الصلبة، وبصفة عامة لا توجد اختلافات يمكن ملاحظتها بينهما فيما يخص النمو وإنتاجية المحصول.

4.2.6 تقنيات الإضافة Techniques of application

إحدى الاعتبارات الهامة في استعمال السماد هي معرفة مواعيد إضافته وهذا يعتمد مبدئياً على نوع المحصول وحركة المغذيات المضافة للتربة.

البوتاسيوم والفوسفات يصعب غسلها من الترب الثقيلة والمتوسطة البناء وتضاف دائماً في فصل الخريف، وتخلط في التربة لتهيئتها لنمو المحصول في فصل الربيع.

من ناحية أخرى فإن الأسمدة النيتروجينية القابلة للغسيل يتم إضافتها في فصل الربيع على سطح التربة خلال مرحلة النمو الخضري. تحت الظروف المناخية شبه الرطبة Semi-humid فإن احتياجات المحصول من النيتروجين يمكن أن تضاف في فصل الخريف لتؤدي دورها في فصل الربيع التالي. السماد النيتروجيني يجب أن يخلط في التربة بالحراثة الجيدة ليكون ميسراً في منطقة الجذور خلال السنة القادمة.

في كثير من الحالات لا يكون مناسباً إضافة النيتروجين دفعة واحدة، ولكن يفضل تقسيمها إلى دفعتين أو أكثر. هذا النوع من معاملة النيتروجين يكون سائداً بصورة خاصة في أنظمة الزراعة الكثيفة ذات الإنتاج العالي والتي يضاف إليها كميات كبيرة من المغذيات. ففي مشاريع إنتاج الأرز باليابان ومشاريع إنتاج القمح في أوربا تتبع طريقة إضافة السماد على دفعات.

معدلات الإضافة الكلية للنيتروجين حوالي 100–160 كيلوجرام نيتروجين/هـ لمحصول القمح. وأحياناً تقسم إلى ثلاث أو أرع دفعات. وأهم دفعة تكون عند مرحلة التزهير فهي تساعد الحبة على الامتلاء وتكوين البروتين. أنظر 3.5.4 .

معاملة المحاصيل الشتوية بالنيتروجين كالقمح الشتوي واللفت الشتوي ويمكن تقسيمها إلى دفعة تضاف في فصل الخريف وأخرى في فصل الربيع. وهذه الطريقة تطبق في الغرب الأوسط بإنديانا (Indiana) في أمريكا، حيث تكون إضافة النيتروجين ضرورية في فصل الخريف لضمان نمو جيد للقمح الشتوي ((Huber et al. (1981)). الإضافة المثلى للنيتروجين في هذا الطور تعمل على تخفيض الضرر الناتج من مرض تلف الجذور الكلي Take- all root والتعفن التاجي Crown rot (Ophiobolus graminis).

فائدة إضافة النيتروجين على جرعات تؤثر على الإنتاج السنوي للنجيليات كما ذكر Brockman (1974).

معظم الأسمدة يتم أضافتها نثراً في صورة صلبة وتوزع بانتظام على التربة إضافة

الأسمدة في أسطر أو حزم إلى الترب التي تعد فقيرة في حالتها الغذائية يمكن أن تعطي نتائج جيدة. وهذا ينطبق أيضاً على الترب القوية في تثبيت مغذيات النبات.

إن عملية نثر أسمدة الفوسفات تسمح بأقصى حد من التلامس بين السماد وحبيبات التربة وذلك يشجع على تثبيت الفوسفور. إذا أضيف السماد بطريقة الحزم قرب الجذور يقل التلامس بين الفوسفات وحبيبات التربة المثبتة. وبذلك ينخفض تثبيت التربة. وإذا كانت الحزم السمادية قريبة من البذور. عندها يتم الحصول على منطقة ذات تركيز عالي من الفوسفات حول الجذور مما يؤدي إلى تطور نموها.

إن تأثير إضافة الفوسفات بوضعها في أسطر أو حزم يكون واضحاً في الترب محدودة الفوسفور. وقد أتضح هذا في التجارب التي نفذت على ترب تعاني نقصاً في الفوسفور بأسكتلندا ((1972) Reith). والبيانات الموجودة بالجدول 13.6 توضح ذلك.

Table 6.13 Effect of a placed application of superphosphate on the relative yield of swedes (*Brassica napus*) grown on P deficient soils. Relative yield of the corresponding broadcast application = 100 (REITH [1972])

Soil group	No. of expts.	Rate of P (kg P/ha)	
		18	36
Old Red Sandstone	9	152	133
Acid igneous	9	138	122
Basic igneous	14	208	162
Slate and schist	10	169	154

إن إضافة الفوسفات بوضعها في منطقة الجذور تؤدي إلى زيادة الإنتاجية مقارنةً بإضافتها بطريقة النثر. وهناك نتائج مشابهة نشرها (1972) Hojmark. في الترب التي تعاني نقصاً في البوتاسوم. إضافة سماد البوتاسيوم بوضعه عند منطقة الجذور أفضل من طريقة نثره.

في الأماكن التي تعاني من نقص في الفوسفور أو البوتاسيوم يجب أن يضاف السماد في فصل الربيع عندما يكون احتياج المحصول لهذه المغذيات عالياً، فإضافته في فصل الخريف تعمل على تثبيت هذه المغذيات، لأن الجذور تكون في هذا الوقت غير مهيأة لامتصاص المغذيات.

5.2.6 الإضافة الورقية : Foliar application

الأوراق والأجزاء الهوائية الأخرى من النبات لها القدرة على امتصاص المغذيات على شكل غازات مثل (CO_2, O_2, SO_2) عن طريق الثغور.

إن امتصاص المغذيات في الصور الأيونية من المحلول يكون محدوداً وذلك لأن خلايا البشرة الخارجية للأوراق تكون مغطاة بطبقة شمعية (كيوتكل) Cuticle الذي يتكون من أغشية Films شمعية متبادلة مع طبقات الكيوتين Cutin الذي يتدخل في تكثيف أحماض دهنية هيدروكسية C18-hydroxy fatty acid تميز النباتات ذات الطبيعة النصف محبة للماء Hemiphilic nature ((Franke (1967)). فالبشرة Cuticle تعتبر منفذة جزئياً فقط للماء والمواد المذابة به. هذه المغذيات التي تمتص من الجو يمكن أن تساعد في سد احتياجات النبات الغذائية. إن امتصاص المغذيات عن طريق أنسجة الأوراق يكون أكثر فاعلية كلما طال بقاء المحلول المغذي على شكل غشاء رقيق على سطح الورقة.

لذلك ففي الأيام الصافية الحارة عندما يزداد تبخر الماء الموجود في محلول الرش الورقي بسهولة وتتراكم الأملاح على سطح الورقة بدون امتصاص. وهذا يسبب احتراق

الورقة. يمكن تجنب مثل هذه التأثيرات الضارة باستخدام محاليل منخفضة التركيز (حوالي 2 – 5 %) والرش في الأيام الباردة والغائمة أو في الماء. ومن أجل الحصول على أغشية رقيقة سطحية وتلامس سطحي واسع أو في الماء. ومن أجل الحصول على أغشية رقيقة وتلامس سطحي واسع ينبغي دائماً تزويد محاليل الرش المغذية بالمركبات التي تقلل شد الماء السطحي. إن امتصاص المغذيات عن طريق خلايا الأوراق أساساً مثل امتصاصها عن طريق خلايا الجذور والخطوة الرئيسية في هذه العملية هي التنقل خلال الغشاء الحيوي المسمى البلازما–لما Plasmalemma بما أن انتقال المغذيات خلال البلازما–لما عملية نشطة فمعدل امتصاص معظم مغذيات النبات تتأثر بالحالة الفسيولوجية للورقة. إن هذا الامتصاص النشط الذي يتم في أنسجة الورقة ليس دائماً هو الخطوة المحددة في عملية الامتصاص الأيوني. معدل الامتصاص يتم التحكم فيه بانتشار مغذيات النبات من الغشاء المائي على سطح الورقة خلال البشرة ومواد الجدار الخلوي إلى غشاء البلازما – لما.

إن عملية رش المغذيات النباتية يمكن أن تكون كفاءته عالية تحت ظروف معينة، ولكن يجب أن نأخذ في الاعتبار عموماً أن الأوراق لها القدرة فقط على امتصاص كميات صغيرة نسبياً من المغذيات بالنظر إلى احتياجات النبات.

هذه الحالة تخص المغذيات الكبرى Macronutrients التي تحتاجها المحاصيل بكميات كبيرة جداً. لهذا فإن إضافة النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بالرش عملية ليست شائعة التطبيق. إن أكثر أسمدة النيتروجين التي تضاف بالرش هي اليوريا التي تكون جاهزة للامتصاص وقابلة للتمثيل في أنسجة الورقة. ذكر Franke (1967) أن اليوريا تحسن نفاذية

طبقة الكيوتكل وبذلك تحسن ظروف الانتشار. وقد أورد Mathur et al. (1968) بأن رش اليوريا على القطن يعمل على زيادة المحصول وأن رش اليوريا أفضل من إضافتها إلى التربة. لقد أستطاع Walter et al. (1973) زيادة إنتاجية العنب وتحسين جودته بإضافة اليوريا بالرش وذلك في ترب محتواها قليل من النيتروجين. مثل هذه التأثيرات يمكن التوصل إليها، ولكن لا يمكن تعميم نتائجها.

فعملياً تحت ظروف الحقل يكون من الصعب دائماً التمييز بين الامتصاص بالأجزاء الخضراء والامتصاص بالجذور، فالكثير من اليوريا التي ترش على الأوراق تقع على التربة وتجد طريقها إلى النبات خلال الجذور.

إن إضافة الأسمدة بالرش تكون مفيدة خاصةً تحت الظروف التي يكون فيها الامتصاص من التربة محدوداً، وغالباً ما يحدث هذا في حالة المعدن الثقيلة مثل الحديد والمنجنيز والزنك والنحاس. هذه المغذيات تكون في كثير من الأحيان مثبتة بحبيبات التربة، ولهذا السبب تكون قليلة التيسر للامتصاص بجذور النبات. في مثل هذه المواقع تكون الإضافة بالرش على شكل أملاح غير عضوية أو مركبات مخلبية Chelates أداة جيدة ومفيدة في التغلب على نقص العناصر الغذائية ((Tukey et al. (1962). بما أن حاجة النبات إلى المغذيات الصغرى Micronutrients تكون بكميات صغيرة فإن الرش مرة أو مرتين في الوقت المناسب تكون كافية لتوفير احتياجات المحصول.

تستخدم طريقة رش المغذيات بشكل خاص في أشجار الفاكهة. ولأن جذورها

عميقة يكون استخدام طريقة إضافة السماد إلى التربة قليلة الفائدة وتكون ميسرة أكثر للغطاء النباتي. لهذا فقد ذكر Cooke(1972) أن رش الأوراق باليوريا كانت وسيلة فعالة في إضافة النيتروجين إلى أشجار التفاح المزروعة في بستان أعشاب حيث تعاني الأشجار غالباً نقس في النيتروجين.

إن الاضطرابات الفسيولوجية Physiological disorders مثل مرض النقرة المرة bitter pit في التفاح والذي ينتج عن نقص الكالسيوم ويمكن تداركه والتقليل منه إلى حد ما برش الثمار بمحلول ملح الكالسيوم عدة مرات. (Schumacher and Frankenhauser (1968))

6.2.6 نسب المغذيات والتوصيات Nutrient ratios and recommendations

كما أشير سابقاً في الفصل الخامس فإن أقصى تأثير لمغذى نباتي ما يمكن فقط أن نتوقعه إذا كان التزويد بالمغذيات النباتية الأخرى كافياً. ولهذا فالنسب التي تضاف بها المغذيات تكون أيضاً مهمة وتعتمد على عدة عوامل منها حالة خصوبة التربة، وأنواع المحصول، وإدارته.

إذا كانت التربة فقيرة في أحد العناصر الغذائية مثل الفوسفات فمن الواجب إضافة أسمدة تكون نسبياً عالية في محتواها من الفوسفور، فعند حدوث نقص حاد في الفوسفات أو البوتاسيوم يجب إضافة الأسمدة المناسبة ينصح به باستمرار وذلك لرفع حالة خصوبة التربة إلى المستوى المطلوب. هذا يحدث غالباً في الترب التي يتم فيها تثبيت الفوسفات والبوتاسيوم بمعادن التربة.

في الترب ذات الخصوبة العالية تكون معدلات امتصاص المحصول للمغذيات مواكبة بدرجة كبيرة لاحتياجات المحصول الغذائية. لذا فإن معدلات امتصاص المغذيات يمكن إلى حد ما أن تستخدم لحساب نسب إضافة السماد. إن معدل كميات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم التي تمتصها محاصيل الحبوب هي على الترتيب 0.8:0.3:1 ويقابلها بنجر السكر والبطاطس المعدلات 1.8:0.3:1 ((Von Boguslawski and Von Gierke (1961)).

بناءً على ذلك ينصح بإضافة الأسمدة المحتوية على مغذيات بنسب 1:0.5:1 لمحاصيل الحبوب، في حين يحتاج بنجر السكر والبطاطس نسب أعلى من البوتاسيوم. إن معدلات امتصاص المحاصيل الخضراء مثل الحشائش والبرسيم تكون حوالي 1.1:0.15:1. في النباتات البقولية مثل البرسيم والصفصفة يتوفر النيتروجين من عملية التثبيت النيتروجيني ولهذا السبب فقط تضاف أسمدة الفوسفات والبوتاسيوم بكميات كبيرة. كميات الفوسفات التي تحتاجها المحاصيل تكون أعلى من الكميات المزالة ومن معدلات امتصاص NPK لأن هناك كمية كبيرة من سماد الفوسفات تثبت في التربة.

لاحظ ((Köhnlein and Knauer (1965)) من خلال تجارب حقلية طويلة الأمد أن نسبة امتصاص الفوسفات بالمحاصيل تتراوح بين 21 إلى 75 % من مجموع الفوسفات المضافة. إن مدى تثبيت الفوسفور يعتمد بدرجة كبيرة على حالة فوسفور التربة فعادةً تكون نسبة الفوسفات المضاف الذي يحدث له تثبيت في التربة الغنية بالفوسفات منخفضة ((Hughes and Searle (1964)).

في تقدير معدلات المغذيات الملائمة لإضافة السماد المعدني يجب أن يؤخذ في الاعتبار العمليات الحقلية، فالدورة الزراعية لها أهميتها حيث أن بقايا المحصول تؤثر على كمية المغذيات التي يحتاجها المحصول التالي. فتبن محصول الحبوب على سبيل المثال يحتوي على 17 كجم N / هـ و 3 كجم P / هـ و30 كجم K / هـ وإذا تم حرثه في تربة الحقل فالمحصول التالي سيحصل على مصدر للبوتاسيوم لكنه سيحتاج كميات إضافية من النيتروجين أكثر من المعتاد لأن جزءاً من النيتروجين المضاف سوف تستغله بكتريا التربة في تحليل التبن أو في عملية تحلل النترات denitrification. إن أوراق بنجر السكر غير المحصود تعد مصدراً جيداً لمغذيات النبات وهي تحتوي على حوالي 100 كجم N / هـ و 10 كجم P / هـ و100 كجم K / هـ ، وهذه المغذيات يمكن أن تستخدم بدرجة كبيرة بالمحصول الذي سيزرع السنة التالية، من جهة أخرى فإن بنجر السكر محصول يحتاج كميات كبيرة جداً من المغذيات، والجذور والأوراق تنتج حوالي 50 طن جذور / هـ يمكن أن تمتص كميات تصل إلى 250 كجم N و 40 كجم P و 630 كجم K للهكتار الواحد من التربة.

هذه الكميات تجعل احتياجات التربة عالية من المغذيات وخاصةً البوتاسيوم.

إذا لم تجهز هذه الكميات لمحصول بنجر السكر فالمحصول الجديد قد يحتاج إلى كميات بوتاسيوم أكبر مما إذا كان المحصول التالي ذا احتياجات أقل من المغذيات.

عند زراعة أعلاف المراعي فإن جزءاً كبيراً من مغذيات النبات يمكن إعادتها للتربة مباشرة عن طريق الحيوانات. ففي المراعي الدائمة يمكن إعادة ما يقرب من 75 إلى 80 % من الفوسفات والبوتاسيوم الممتص بنبات العلف Sward لذا فمعدل إضافة الأسمدة للمراعي

يجب أن يحتوي على نسب قليلة من هذه المغذيات ((Bergmann (1969).

إن نسب مغذيات الأسمدة تعتمد أيضاً على درجة كثافة الزراعة عندما تكون مستويات الإنتاج عالية وكثافة المحصول مستمرة، فإن معدل مغذيات النبات التي مصدرها التربة أساساً تكون قليلة. وهذا مهم خاصةً للبوتاسيوم. في أنظمة الزراعة الموسعة يجهز البوتاسيوم بكميات كبيرة عن طريق التربة.

ذكر Cooke (1974) أن أسمدة البوتاسيوم تزداد الحاجة إليها عند الزراعة المكثفة. هذا يعكس كثيراً معدلات التغذية في الأسمدة المستعملة في مناطق مختلفة من العالم كما هو موضح في الجدول (14.6). الكميات العالية نسبياً من الفوسفات التي تستهلك في مناطق Oceania في كل من نيوزيلندا وأستراليا كانت نتيجة لإضافة الأسمدة إلى المراعي.

Table 6.14 Nutrient ratios in fertilizers used in 1972 in various regions of the world (FAO [1972])

	N	P_2O_5	K_2O
Western Europe	1	0.82	0.71
North America	1	0.61	0.53
Oceania	1	8.3	1.4
Latin America	1	0.70	0.47
Near East	1	0.42	0.03
Far East	1	0.33	0.20
Africa	1	0.77	0.44

من خلال تجربة استمرت لعدة سنوات أمكن إصدار توصيات باستخدام الأسمدة، وقد تمت أخيراً محاولة للتوصل إلى وسيلة كمية. نشرت في سنة 1973 توصيات عن وزارة

الزراعة والثروة البحرية والتغذية في بريطانيا حول استخدام الأسمدة، وقد قدمت طرق مفيدة لاستخدام معدلات الأسمدة لعدد كبير من محاصيل المناطق المعتدلة على ترب مختلفة. وقد بني أساس هذه التوصيات على عدة مصادر وسنوات من الخبرة الاستشارية مقترنة مع بيانات تحليل التربة. لأي تربة فإن كل عنصر يعطي معاملاً عددياً يمثل درجة تيسر العنصر. المعامل العددي للفوسفور والبوتاسيوم والماغنيسيوم من 0 – 9 يكون على أساس تقدير تيسر المغذيات باستخلاصها بطرق قياسية مناسبة.

في حالة الفوسفور تستعمل بيكربونات الصوديوم عند رقم هيدروجيني PH = 8.5، في حين استخلاص البوتاسيوم والماغنيسيوم يتم الحصول عليه من مستخلصات نترات الأمونيوم 1 عياري M ammonium nitrate. الجدول (15.6) يبين مؤشرات مغذيات النبات في الأسمدة وعلاقتها بمستوياتها المتيسرة في التربة.

عند القيمة 0 تكون درجة التيسر قليلة جداً. المستويات الحرجة دائماً تقع بين 1 و 2 ويكون هذا حوالي ppm P, 120ppm K and 50ppm Mg15. أقل من هذه القيم يكون هناك إمكانية كبيرة بوجود نقص تغذية. دليل النيتروجين من 0–5 يكون على أساس نظام الزراعة وتاريخ زراعة المحصول، ففي بعض الحالات تعدل احتياجات الأسمدة النيتروجينية حسب متوسط هطول أمطار الصيف وعمق التربة وقوامها وهطول الأمطار الحقيقي في الشتاء.

Table 6.15 Indices of P, K and Mg in relation to available soil nutrients (MINISTRY OF AGRICULTURE FISHERIES AND FOOD. Technical Bulletin No. 209. Fertilizer Recommendations. H.M.S.O. [1973])

Index	P Sodium bi-carbonate pH 8.5	K Ammonium nitrate extract	Mg	Interpretation
	P (ppm in soil)	K (ppm in soil)	Mg (ppm in soil)	
0	0 – 9	0 – 60	0 – 25	Deficiency in arable crops expected
1	10 – 15	61 – 120	26 – 50	Possible deficiency in susceptible crops
2	16 – 25	121 – 240	51 – 100	
3	26 – 45	245 – 400	101 – 175	
8	201–280	2410–3600	1010–1500	Excessively high levels

Table 6.16 Nutrient requirements of sugar beet, potatoes and spring oats growing on sandy soils (kg/ha) (MINISTRY OF AGRICULTURE FISHERIES AND FOOD. Technical Bulletin No. 209. Fertilizer Recommendations. H.M.S.O. [1973])

Crop	Nutrient Index	N					P					K				Mg		
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	over 3	0	1	2	over 2	0	1	over 1
Sugar Beet		125	125	100	75	50	188	125	63	38	Nil	313	188	125	125	94	63	Nil
Maincrop Potatoes		225	188	150	100	75	313	250	219	188	125	313	250	250	188	75	38	Nil
Spring Oats		100	75	38	Nil	Nil	75	38	38	Nil	Nil	75	38	38	Nil	63	Nil	Nil

في جدول (16.6) مثال يوضح كيفية استعمال نظام المعامل العددي لاحتياجات المحصول العملية. هذا يعطي الاحتياجات الغذائية الثلاثة محاصيل مزروعة في ترب رملية.

بالإضافة إلى النماذج المعطاة في جدول (15.6) و (16.6) فإن النشرة توفر معلومات إرشادية عند نوع الأسمدة المستخدمة ووقت إضافتها والعوامل الأخرى الخاصة بإدارة كل محصول. هذا النظام ليس إجابة شاملة لكل مشاكل المحاصيل.

على سبيل المثال استخدام المحصول السابق للحصول على معامل عددي نيتروجيني لا يكون كافياً بشكل كامل. ويمكن تحليل التربة باستخدام طريقة أقل كمية نيتروجين N^{min} كما طورت في ألمانيا قد تحسن هذا الوضع. أنظر 7.4.2 .

هناك وسيلة جديدة للتنبؤ بالأسمدة التي تحتاجها محاصيل الخضر المزروعة في ترب مختلفة توصل إليها Greenwood et al. (1974). هؤلاء الباحثون ذكروا بأنه هناك أكثر من 20 محصول خضراوات تنمو على ترب كثيرة مختلفة في بريطانيا فإنه لا يمكن عملياً تنفيذ تجارب لتغطية أكثر من تركيبات قليلة ممكنة من المحاصيل والتربة.

وعليه فقد طوروا طريقة بديلة أسمها (Short Cut) حيث يشغل النموذج أولاً ثم يعدل مع بيانات تجريبية ويستخدم في التنبؤ بمنحنيات الاستجابة في حالات مختلفة.

تم تنفيذ مجموعة تجارب لتحديد استجابة عدد 22 محصول لأسمدة النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم ويمكن لهذه الوسيلة أن تطبق عملياً في الحقل.

هذه الطريقة النموذجية أثبتت فائدتها في التنبؤ بأسمدة NPK لمحاصيل الخضر ويمكن أثبات فائدتها في التنبؤ بالاحتياجات السمادية للمحاصيل الزراعية الأخرى.

.Greenwood et al. (1980)

3.6 المظاهر العامة لاستخدام السماد:

General Aspects of Fertilizer Application

1.3.6 استعمال السماد والإنتاج الزراعي

Fertilizer use and Agricultural production

إن التطبيقات العلمية للزراعة كان لها الأثر الكبير على الإنتاج الزراعي، وهذا يمكن ملاحظته في الجدول (17.6) الذي يبين مقارنة بين إنتاج المحاصيل في وقتنا الحاضر وإنتاجها قبل 100 سنة في ألمانيا. إنتاج المحاصيل حالياً يعادل حوالي ثلاثة أضعاف ما كان عليه عند نهاية القرن 19. فقد كان إنتاج زراعة 100 هكتار في ذلك الوقت يكفي لغذاء 129 شخصاً في السنة، أما الآن فإن نفس المساحة تنتج غذاءً يكفي حوالي 450 شخصاً. في أقطار أخرى مشابهة حدثت فيها زيادة مفاجئة في إنتاج المحاصيل وهذه الزيادة كانت نتيجة كما تم الوصول إليه في البحوث العلمية والأساسية والتي بدونها لكان يعاني من وطأة المجاعة حتى في المناطق التي تعتبر الآن ذات إنتاج فائض.

إن الزيادة المذهلة في إنتاج المحاصيل نتجت بدون شك من عوامل مشتركة مثل تحسين نوع المحصول عن طريق الوراثة والتربية، وتحسين طرق الزراعة، واستخدام مبيدات الآفات والأعشاب، مع استعمال الأسمدة. وجميع هذه العوامل يكون تأثيرها بعلاقات متداخلة.

Table 6.17 Mean crop yields in Germany at the present time compared with those before the introduction of mineral fertilization

	Yield in tonnes/ha	
	1878/88	1965/70
Wheat (grain)	1.3	3.8
Rye (grain	1.4	3.0
Barley (grain)	1.3	3.4
Oats (grain)	1.2	3.2
Potatoes (tubers)	8.2	27.0
Sugar beet (fresh roots)	22.0	43.4
Hay	3.1	6.7

من أجل الوصول إلى إنتاج محالٍ للمحاصيل يجب توفير مغذيات النبات في التربة وهذا قد ناقشه Greenwood (1980) في بحوثه الأخيرة وقد بين هذه النقطة في تجاربه في بريطانيا، حيث ذكر أن أقصى إنتاجية في محاصيل الحبوب وصلت إلى 20 طناً من المادة الجافة في الهكتار سنوياً، وهي تحوي على الأقل 1.5%N و0.3%P و1.5%K. وبذلك تكون قد امتصت على الأقل 300 كجم N / هـ و 60 كجم P / هـ و300 كجم K / هـ.

وإذا ما قُورن ذلك بما تعطيه معظم الترب في بريطانيا وجد أنها سنوياً حوالي 40كجم N/هـ و 5 كجم P/هـ و10 – 100 كجم K/هـ وذلك إذا ما زرعت قمحاً بشكل مستمر. إن الفرق اللازم للوصول إلى أعلى إنتاجية يلزم تعويضه بإضافة الأسمدة. وعليه ففي الزراعة الحديثة ترجع الإنتاجيات العالية إلى إضافة الأسمدة المعدنية وهذا ما أوضحه Viets (1971) في أمريكا، الذي درس تأثير وقف استمرار إضافة الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية لمدة سنة واحدة فقط على إنتاجيات عدد من المحاصيل. (شكل 7.6).

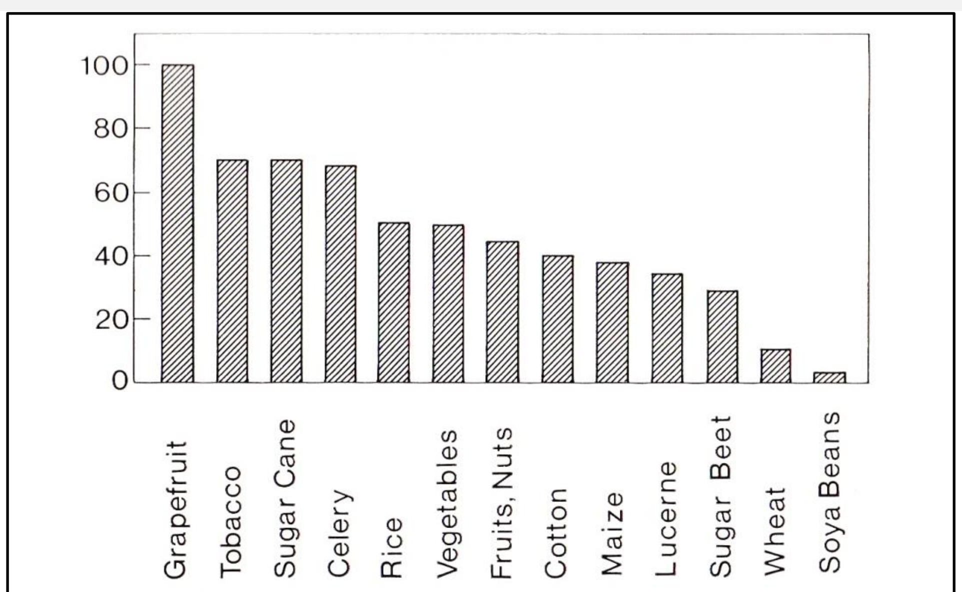


Fig.6.7 Estimated per cent reduction in crop yields from different parts of the USA, the first year with elimination of nitrogen and phosphate fertilizers (after VIETS [1971]).

استخدام الأسمدة يلعب دوراً جوهرياً في زيادة الغذاء لسد الاحتياجات العالمية نتيجة ازدياد عدد السكان ويتضح ذلك من التحليل الشامل الذي قامت به منظمة الزراعة والأغذية العالمية FAO (الشكل 8.6) ((Richard (1979)) وذلك من خلال نتائج عدد كبير من التجارب الحقلية نفذت في الدول النامية، وقد أوضحت أن استعمال الأسمدة أدى إلى زيادة ملحوظة في إنتاج المحصول والني كانت أكثر من 100% لمعظم المحاصيل.

ومدى استخدام الأسمدة يختلف بدرجة كبيرة بين مناطق العالم المختلفة. ((V.Peter (1980)) وكما هو موضح في شكل 9.6 فإن استهلاك الأسمدة في الهكتار لكل

فرد يكون عالياً في الدول المتقدمة (دراسة (after V. Peter (1980 عن منظمة UNIDO).

شكل 8.6. شكل 9.6.

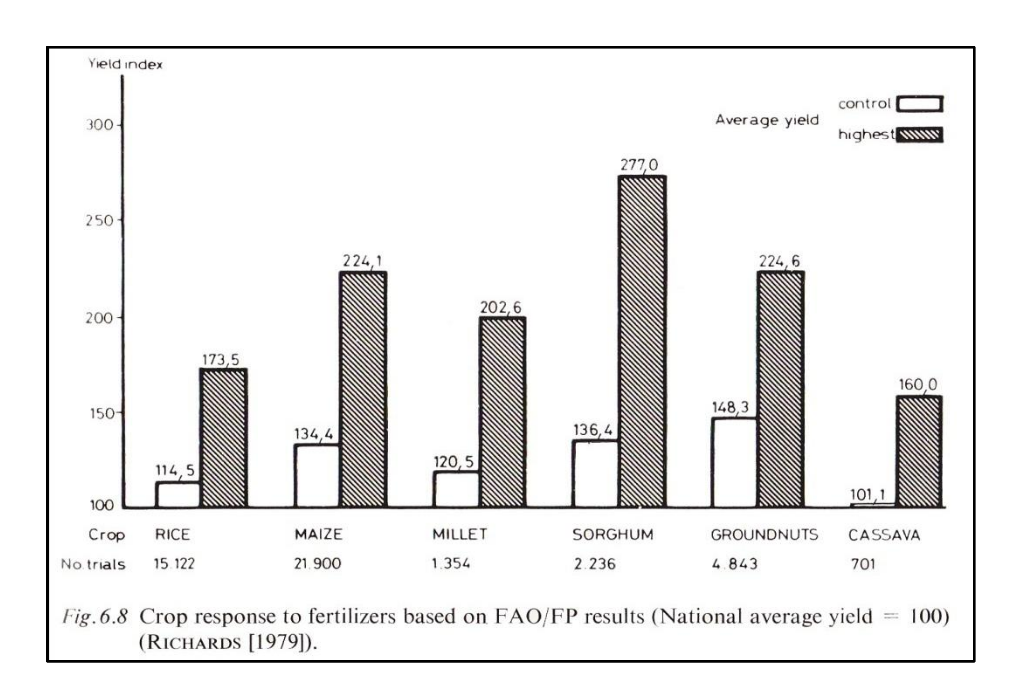


Fig. 6.8 Crop response to fertilizers based on FAO/FP results (National average yield = 100) (RICHARDS [1979]).

للاستفادة المثلى من إضافة الأسمدة يجب استخدام أصناف جديدة من المحاصيل. وخاصة في حالة القمح والأرز، فالأصناف المحلية دائماً تكون طويلة ولها القابلية للرقاد خاصةً عند تسميدها بالنيتروجين، أما الأصناف الحديثة فهي قصيرة وبذلك تكون مقاومة للرقاد وقد تعطي إنتاج حبوب أعلى عند تسميدها بمغذيات كافية وهذا موضح بالشكل (10.6) ((Chandler (1970)).

صنف القمح الهندي المحلي الطويل C-306 يستجيب فقط للمعدلات المنخفضة

من أسمدة النيتروجين وقد أعطى أعلى إنتاج حبوب عند إضافة حوالي 80 كجم N/ه على عكس الأصناف المكسيكية القصيرة ذات التبن الصلب Sonora64 و Leraa Rojo حيث أبدت استجابة كبيرة للنيتروجين فقد أعطت ضعف إنتاج الحبوب عند إضافة النيتروجين بمعدل 160 كجم N / ه.

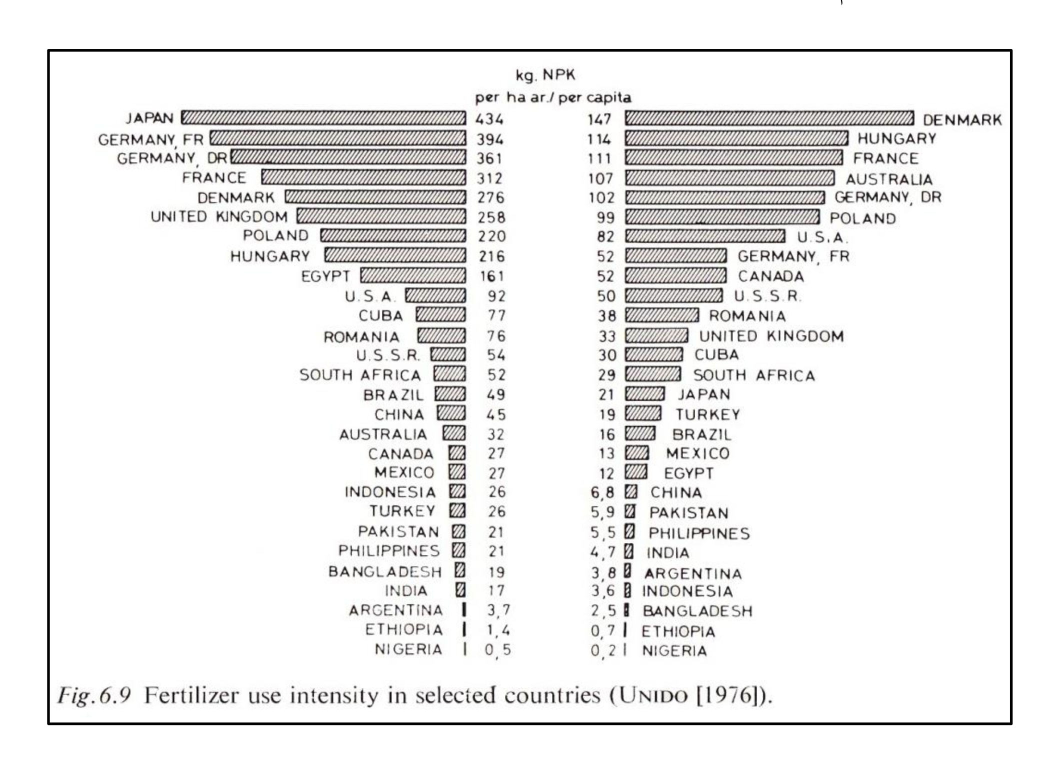


Fig.6.9 Fertilizer use intensity in selected countries (UNIDO [1976]).

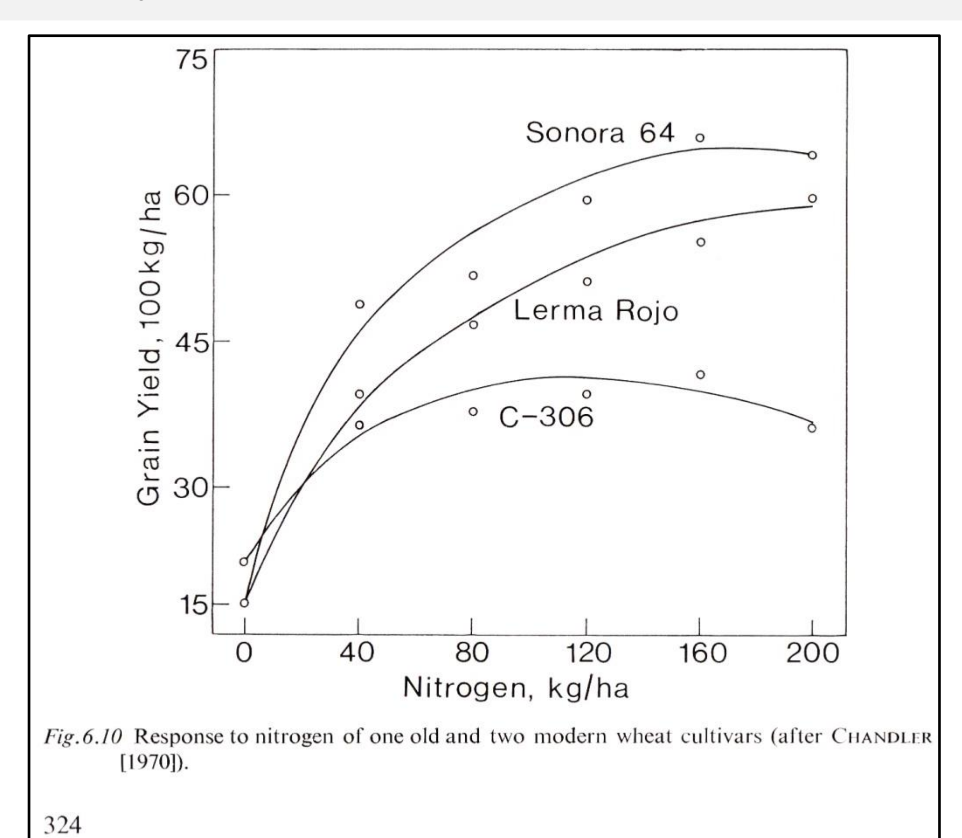


Fig.6.10 Response to nitrogen of one old and two modern wheat cultivars (after CHANDLER [1970]).

324

2.3.6 إضافة الأسمدة واستهلاك الطاقة:

Fertilizer application and energy consumption

في مزرعة متوسطة الحجم بالولايات المتحدة الأمريكية ينتج الفرد الواحد غذاءً يكفي 50 شخصاً. وقد تم تحقيق هذه الكفاءة العالية نتيجة استخدام كمية طاقة كبيرة في صورة نفط وكهرباء. واستخدام الأسمدة ومبيدات الحشرات والحشائش تتدخل أيضاً بصفة غير مباشرة في استهلاك الطاقة التي يحتاجها هذا الإنتاج. وكما أوضح Lewis and

Tatchell (1979) فإن الطاقة المطلوبة لإنتاج 1 كيلوجرام سماد مغذي للنبات يكون كالآتي: N-73 MJ , P-14MJ, K-8MJ والقيمة التي يتم الحصول عليها لمعدلات النيتروجين تكون حسب الطرق الحديثة للإنتاج.

الأساليب القديمة تستهلك في الغالب ضعف الطاقة اللازمة لإنتاج 1 كيلوجرام سماد نيتروجيني. ولقد قام الباحثان Lewis and Tatchell (1979) بدراسة حول استهلاك الطاقة في الإنتاج الزراعي تحت ظروف الزراعة في بريطانيا. وقد لخصت نتائجها الرئيسية في الجدول (18.6) من هذه البيانات نلاحظ بوضوح أن موازنة الطاقة في الإنتاج النباتي تكون إيجابية إذا كان معدل الطاقة المنتجة إلى الطاقة المستهلكة > 1. والعكس يكون صحيحاً في الإنتاج الحيواني.

والجدول يوضح أيضاً أن استخدام الأسمدة المعدنية قد حسن نسبة طاقة إنتاج المحاصيل إلى نسبة الطاقة المستهلكة $_{input}$ / ^{output} . نتيجة هذه الدراسة اتفقت مع نتائج Pimental et al. (1973) المتحصل عليها من إنتاج الذرة في الولايات المتحدة الأمريكية. إنه من الواجب التأكيد على أن الأرقام التي بالجدول (18.6) كانت قد حسبت من الأجزاء النباتية القابلة للأكل مثل الحبوب أو السكر أو درنات البطاطس، أما الأجزاء النباتية الأخرى التي تحتوي هي الأخرى على طاقة لم تؤخذ في الاعتبار. كمية الطاقة الموجودة في تبن محاصيل الحبوب هي دائماً أعلى من الطاقة الموجودة في الحبوب وهي تقريباً 15GJ من 1 طن قمح أو شعير.

إذا أخذ في الاعتبار الأجزاء النباتية غير الصالحة للأكل لكانت النسب المتحصل عليها عالية جداً.

Table 6.18 Energy output/input ratio of crop and animal products (data from LEWIS and TATCHELL [1979])

	Total	Increment obtained by fertilizer application
Wheat (winter)	2.2	3.3
Barley (spring)	2.0	3.2
Sugar	2.5	2.1+)
Potatoes	1.3	2.0
Milk	0.40	0.41
Beef++)	0.21	0.22
Lamb++)	0.20	0.18

+) Low value because of poor weather
++) Total edible output

المحاصيل البقولية تحتاج إلى كميات قليلة من الطاقة لإنتاجها لأن احتياجاتها من النيتروجين قليلة جداً. وقد ذكر Gasser (1977) أنه عند زراعة البرسيم لمدة أكثر من 3 سنوات يحتاج إلى فقط GJ/ha9 ولكنه أنتج GJ/ha320. وهذه النسبة $^{output}/_{input}$ = 35

احتياجات الحيوانات التي ترعى على مراعي البقوليات تكون احتياجاتها من الطاقة قليلة أيضاً ((Leach (1976).

في مناقشة احتياج الطاقة للإنتاج الزراعي فإنه يجب فهم أن الإنتاج الحيواني والنباتي يحتاج إلى كمية قليلة من الطاقة مقارنة مع الاستهلاك الكلي للطاقة في المجتمع الحديث، فمثلاً في بريطانيا نرى أن حوالي 4 % من استهلاك الطاقة الملي تحتاجه الزراعة، منها 1 % في تشغيل الآلات و1 % لإنتاج الأسمدة ((White (1976). هذه المقارنة تبين بوضوح أن

توفير الطاقة لا يجب أن يوجه إلى الإنتاج الزراعي بالدرجة الأولى. في الحقيقة فإن Greenwood (1981) قد أوضح أنه بالقياس العالمي فإن جزءاً قليلاً فقط من طاقة النفط المستهلكة حالياً يمكن استخدامها في صناعة كل الأسمدة التي تكفي لإنتاج الغذاء لكل فرد.

يجب التأكيد على أن إنتاج المحاصيل هي إحدى وسائل الإنتاج ذات التوازن الايجابي للطاقة. يبدوا أن الطاقة التي تكتسبها النباتات تلعب دوراً متزايداً في وقتنا الحاضر في سد احتياجات الطاقة المستقبلية.

فقد ذكر Hall (1977) أنه توجد خمسة أنواع من النباتات تعتبر ملائمة لحصاد الطاقة الشمسية وهي: أشجار الكافور Eucalyptus وشجيرات Hibiscus وأعشاب Napier (عشب علف استوائي) وقصب السكر ونبات Cassava. وأخيراً هناك أنواع حديثة من العائلة اللبنية Euphorbiaceae تعتبر محاصيل حاصدة للطاقة الشمسية وتحتوي على مادة تسمى Latex وهي لبن نباتي يتكون من مركبات Hydrocarbons ويمكن تمثيله بسهولة.

وما تمتاز به هذه الأنواع أن احتياجاتها المائية قليلة ويمكنها النمو في المناطق الأكثر جفافاً.

3.3.6 استخدام السماد والبيئة: Fertilizer application and the Environment

هناك دائماً جدال بأن الأسمدة تلوث البيئة، وقد بين Dan Kofoed (1974) ثلاثة أوجه رئيسية لإضافة الأسمدة لها علاقة بمشاكل التلوث وهي؛ تلوث مياه الشرب والتأثير في

التغذية الطبيعية للبحيرات والأنهار Eutrophication وعدم التوازن في جودة منتجات النبات.

1.3.3.6 ماء الشرب والأسمدة : Drinking Water and Fertilizers

إن المكون الرئيسي للأسمدة والذي له تأثير غير مرغوب فيه على مياه الشرب هو النترات. وأن وجود المغذيات الأخرى مثل الفوسفات والبوتاسيوم والماغنيسيوم يمكن أن يحسن جودة مياه الشرب، لأن مثل هذه الأيونات ضرورية لتغذية الأنسان والحيوان بشكل مباشر. النترات في حد ذاتها غير سامة ولكن النيتريت الناتج من إختزال النترات يسبب مرض Methaemoglabinemia الذي يصيب الأطفال. قد يتحلل حامض النيتروز Nitrous acid إلى OH^- و NO^+ الأخير يؤكسد حديد الهيموجلوبين Fe^{+2} إلى حديد ثلاثي Fe^{+3} وفي هذه الحالة يكون غير قادر على إدمصاص الأكسجين. وكما ذكر Cooke (1972) فإنه يوجد بعض الشك مقدار التركيز المقبول للنترات في مياه الشرب. فمعيار منظمة الصحة العالمية هو ppm NO_3-N10. وهذا تم رفعه إلى جزء في المليون في أوروبا و45 جزءاً في المليون في أمريكا.

بما أن أسمدة النترات تستعمل في الزراعة بكميات متزايدة فهناك قلق من أن بعض أسمدة النترات قد تغسل وتحمل في الطبقات العميقة لأحواض الصخور الحاملة لماء الشرب Aquifers.

قام Kolenbrander (1972) بدراسات مكثفة عن جودة مياه الشرب في هولندا لمدة أكثر من 40 سنة تبين منها أن الماء الفج Crude Water من حوالي ⅓ محطات المياه

زاد محتواه من النترات بحوالي 0.57 جزء في المليون منذ سنة 1920.

أما في الثلثين الآخرين من ماء المحطات الفج فلم يستدل على وجود النترات.

والتوزيعات التكرارية لمحتوى النترات في مياه الصنبور غير النقي كان تقريباً هو نفسه من عام 1921 وحتى 1966 بينما خلال هذه الفترة زاد استخدام النيتروجين بحوالي 150 كجم نيتروجين للهكتار في السنة. من هذه النتائج نلاحظ أنه رغم زيادة الأسمدة النيتروجينية في محتواها من النيتروجين بدرجة عالية جداً إلاَّ أنه لم يكن هناك تأثيراً جوهرياً على محتوى النترات في مياه الشرب.

إن تأثيرات الأسمدة النيتروجينية على محتوى المياه الجوفية ومياه الشرب لا يمكن تعميمها. والمعروف جيداً أن استخلاص الأسمدة النيتروجينية غير العضوية يكون بصورة كاملة وزيادة معدلات الإضافة تقلل متوسط الاستخلاص Recovery والمدى الذي يلعب فيه الغسيل دوراً في هذا الفقد غير واضح تماماً.

بالنسبة للمحاصيل الزراعية تمتص حوالي 20 – 60 % من النيتروجين المضاف. أما الحشائش فهي تمتص حوالي 40 – 80 % من النيتروجين المضاف.

وجميع هذه القيم تعتمد على التربة والموسم. حسب ما توصل إليه Parker (1972) تحت الظروف المناخية والزراعية للغرب الأوسط الأمريكي أن حوالي 50 % من النيتروجين المضاف تم امتصاصه بالمحاصيل في السنة الأولى. في هذه الحالة فإن 5 % فقط قد غسل في الطبقات العميقة للتربة، والباقي يفقد في عمليات الدنترة والتثبيت بالكائنات الحية الدقيقة.

جدول (19.6). حسب ما ذكر Cooke (1972) في بريطانيا أن محاصيل غسيل التربة غالباً ما تحوي حوالي 10 جزء في المليون نترات No_3-N وتزداد هذه القيمة في فصل الربيع أو الخريف.

مستويات النترات في مياه الشرب أقل من هذا بكثير وتبقى دائماً أقل من المعدل الحرج (23 جزء في المليون) في الظروف التي ترتفع فيها مستويات النترات No_3-N، فيجب الأخذ في الاعتبار المعدلات المناسبة لإضافة الأسمدة وأوقات إضافة السماد وطرق إضافته وكذلك الإدارة الحقلية للمزرعة لتجنب التلوث. في ظل ارتفاع أسعار الأسمدة يجب على المزارع أن يتخذ التدابير الكافية لمنع فقد الأسمدة بالغسيل.

هناك طريقة لتحليل النترات تسمى N^{min} يمكن أن تستعمل في ضبط إضافة النيتروجين حسب حاجة المحصول وبذلك يقلل من التلوث بالنترات.

Table 6.19 Fate of fertilizer nitrogen under the conditions of the Corn-Belt in the mid-West USA (PARKER [1972])

Absorbed by the crop	50%
Fixed in organic form by microorganisms	30%
Denitrified	15%
Leached out	5%

إن مستوى تركيز النترات في المياه الجوفية والصخور المائية والمياه السطحية يعتمد لحد كبير على تمعدن مركبات النيتروجين العضوي في التربة، واستخدام الأسمدة العضوية (السماد البلدي والأخضر والفضلات) في فصل الخريف أو الشتاء يؤدي إلى فقد كبير في النيتروجين الذي قد يؤثر في محتوى النترات في المياه الجوفية، يجب الأخذ في الاعتبار أن

غسل النترات يحدث أيضاً في الترب غير المزروعة حيث أن إنتاج النترات عملية طبيعية تتم بوساطة أحياء التربة الدقيقة.

2.3.3.6 تغذية الأنهار والبحيرات وعلاقتها بالأسمدة:

Eutrophication and fertilizers

Eutrophication دعم وتحفيز نمو النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة في البحيرات والأنهار، وهي عملية طبيعية وإذا لم يتم إيقافها فإن نقصاً كبيراً ومتزايداً سيحدث للأكسجين الموجود في الماء وبذلك فإن الأحياء التي تعيش تحت ظروف لاهوائية تزداد أكثر فأكثر على حساب الأحياء الهوائية. تحت هذه الظروف تبقى المادة العضوية بدون تحلل إلى ماء H_2O، وثاني أكسيد الكربون CO_2، وتتراكم بكميات كبيرة في صورة مختزلة. وإلى جانب تراكم هذه المركبات العضوية هناك نواتج عملية الأيض التي تنتجها الأحياء الدقيقة اللاهوائية مثل الميثان Methane والأيثلين Ethlene وكبريتيد الهيدروجين H_2S وحامض البيوتريك Butyric acid ومركبات أخرى منخفضة الوزن الجزيئي.

هذه المركبات سامة جداً للأحياء الدقيقة الهوائية، ولهذا السبب تكون تغذية البحيرات والأنهار لها تأثير ضار.

لفهم عملية التغذية Eutrophication يجب الأخذ في الاعتبار التأثيرات المتداخلة للأنواع المختلفة من الكائنات الحية ودراستها بالتفصيل.

إن العلاقة بين الطحالب وبكتيريا التمثيل الضوئي والبكتيريا اللاهوائية التي تعيش في البحيرات حيث تقتصر حركة الماء على الطبقة السطحية كما هو موضح بالشكل (11.6)

((Stanier et al. (1971). في الطبقة السطحية توجد الطحالب والنباتات الخضراء الأخرى التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي. إن نشاط التمثيل الضوئي يجعل هذه الطبقة هوائية وغنية بالأكسجين الذائب. والحد الفاصل بين طبقة المياه الهوائية ومنطقة المياه اللاهوائية الأعمق منها تكون ملائمة لنمو بكتيريا التمثيل الضوئي، وفي هذا العمق تكون كثافة الضوء لا تزال عالية وتكفي للقيام بعملية التمثيل الضوئي ولكن الوسط غير هوائي، وليس كما تحتاجه بكتيريا التمثيل الضوئي. هذه الكائنات الحية هي بكتيريا الكبريت الأرجوانية والبكتيريا الخضراء التي تتغذى على النواتج النهائية لعملية الأيض في الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية التي تتواجد أساساً في الأسفل عند ترسيبات البحيرة الطينية.

إن بكتيريا التمثيل الضوئي تستخدم نواتج هذه العملية وهي كبريتيد الهيدروجين H_2S وحمض البيوتريك Butyric acid أو الأحماض الدهنية الأخرى كعامل يزود عملية التمثيل الضوئي بالإلكترون ثم تحلل هذه المركبات التي تعتبر سامة للنباتات الخضراء.

هذه الطبقة الضيقة من البكتيريا ذات التمثيل الضوئي تعمل كمصفاة وتحفظ الطبقات العليا من الماء خالية من المواد السامة. إذا ما أضطرب التوازن بين هذه الكائنات فإن المواد السامة ستزداد وقد تصل إلى سطح البحيرة مما يؤثر على نمو ونشاط النباتات الخضراء. إنتاج الأكسجين من عملية التمثيل الضوئي يقل ويصبح سطح البحيرة لا هوائياً تدريجياً وبذلك تكون الأحياء الهوائية في خطر بما في ذلك الأسماك.

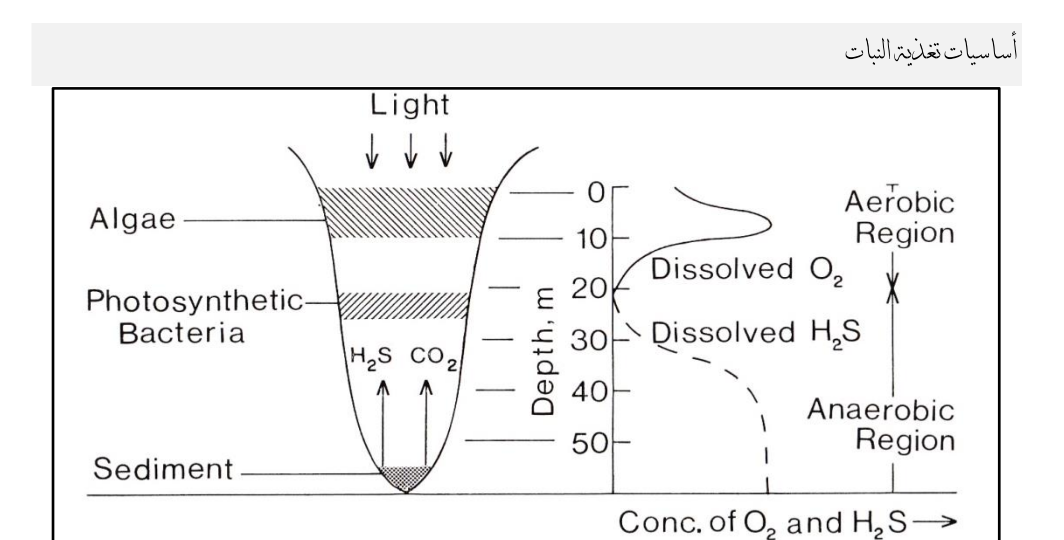


Fig.6.11 Oxygen and H_2S concentrations in a narrow deep water lake (meromictic lake) in relation to the growth of various organisms (after STANIER *et al.* [1971]).

مثل ذلك الاضطراب في التوازن الحيوي Biological balance يمكن أن يشجع بشكل كبير بنمو الطحالب. عندما تترسب كميات كبيرة من مواد الطحالب الميتة فإن الأحياء الدقيقة اللا هوائية الموجودة في قاع البحيرة سيتوفر لها مصدر غذائي وفير، وتنتج كمية كبيرة من المواد السامة. إذا كانت هذه المواد السامة أكثر من قدرة بكتيريا التمثيل الضوئي فإن تأثير عملية الترشيح أو التصفية لهذه الكائنات يقل أو يكون معدوماً وبذلك يسهل وصول المواد السامة إلى الطبقات السطحية للبحيرة.

الفوسفات تكون أحياناً هي العامل المحدد في نمو الطحالب في البحيرات والمجاري المائية ومحتوى المياه من الفوسفات غالباً ما يكون موازياً لدرجة تعزيز التغذية Eutrophication. إن الحد الأدنى الذي يحدد تعزيز التغذية في نمو الطحالب هو 0.01 جزء

في المليون من الفوسفور.

الزيادة في استعمال الأسمدة الفوسفاتية في بعض الأحيان تكون مسئولة عن الزيادة في تعزيز التغذية Eutrophication. كما نوقش سابقاً (3.1.6) لذا فإن الفوسفات تكون ممسوكة بشدة بحبيبات التربة ويغسل من الأراضي الزراعية إلى البحيرات والأنهار بمعدلات قليلة جداً. لا يتأثر الغسيل بالتسميد الفوسفاتي ولكنه معتمداً على ذوبان الفوسفات الموجود طبيعياً في التربة تحت السطحية (Subsoill).

إن أكبر إسهام للفوسفات الزراعي في مياه الصرف يبدو أن مصدره فضلات الحيوانات التي تحتوي على 2–5 جزء في المليون فوسفور. وبناءاً عليه فإن الزراعة ليست هي أكبر مصدر للفوسفور على الإطلاق. وكما ذكر ((Kolenbrander (19720) يبدو أن أكبر مساهمة للفوسفات الزراعي في مياه الصرف تأتي من فضلات الحيوانات، التي تحتوي على 2–5 في المليون فوسفور. إن أهم الملوثات الفوسفاتية للبحيرات والمجاري المائية هي تلك التي تأتي من المنظفات ومخلفات المدينة Urban Wastes. بينما فوسفات التربة يشارك فقط بحوالي 4 – 5 % من الكلي المغسول في المياه السطحية. لقد قدم Ryden et al. (1973) دراسة كافية ومفصلة عن الفوسفور في المجاري المائية والأنهار الصغيرة.

النترات تعتبر ضرورية لنمو الطحالب، وبما أن المستوى الحرج للنمو (0.7 جزء في المليون N) أقل من محتواها في مياه الأمطار (0.7 جزء في المليون N) فإن غسيل النترات لا يعتبر مشكلة مهمة. مغذيات النبات الأخرى لا تحدد نمو النباتات المائية إلى أي درجة.

3.3.3.6 الأسمدة غير العضوية والعضوية Fertilizers-inorganic and organic

إن جودة منتجات النبات يمكن أن تتأثر إلى حد كبير بتغذية النبات (الفصل 5)، والسؤال الذي يطرح دائماً هو ما إذا كانت هناك اختلافات رئيسية في جودة النبات تحدث بين النباتات نتيجة إضافة أسمدة غير عضوية أو عضوية.

ويعتقد بعض ذوي الخبرة في هذا المجال أن الأسمدة غير العضوية ولأسباب معينة قد تحدث أمراضاً للإنسان والحيوان، وأنه لا يجب أن تضاف مطلقاً للتربة.

هناك عدة نقاط تحتاج إلى توضيح. يجب الأخذ في الاعتبار أنه حتى في الأسمدة العضوية مثل السماد البلدي والأخضر والفضلات معظم المغذيات النباتية التي تحويها مثل (البوتاسيوم والماغنيسيوم والفوسفور) تكون في صورة غير عضوية.

والمغذيات الأخرى خاصةً النيتروجين والكبريت تتحول إلى صور غير عضوية عن طريق الأحياء الدقيقة في التربة قبل امتصاصها بجذور النبات. وعليه رغم أن النباتات قد تزود بأسمدة عضوية إلاَّ أنها لا يمكنها امتصاص مغذيات غير عضوية مشتقة من هذه المواد العضوية. وهذا هو السبب الرئيسي في عدم وجود اختلافات كبيرة بين المحاصيل التي أضيفت إليها أسمدة عضوية وتلك التي أضيفت إليها أسمدة غير عضوية. الأسمدة العضوية وغير العضوية تختلف في تيسر المغذيات النباتية التي تحويها. فالمغذيات الموجودة في الأسمدة غير العضوية تكون ميسرة بشكل مباشر لجذور النبات بينما مغذيات المواد العضوية وخاصةً النيتروجين العضوي تكون أقل تيسرا. فقط حوالي ⅓ كمية نيتروجين السماد البلدي المضاف

إلى التربة يكون ميسراً للمحصول خلال السنة الأولى. ((1972) Cooke). التحرر البطيء نسبياً لنيتروجين الأسمدة العضوية له بعض الفوائد على جودة المحصول مقارنةً مع نيتروجين الأسمدة غير العضوية. نفس التأثيرات الإيجابية يمكن الحصول عليها من إضافة الأسمدة النيتروجينية غير العضوية في وقتها المناسب أو على دفعات.

إن من أخطر العوائق في استخدام الأسمدة العضوية (السماد البلدي والأخضر هو اعتمادها على العوامل المناخية في تحرير وانطلاق النيتروجين في التربة. إن تحول النيتروجين الأميني amino nitrogen والنيتروجين الحلقي heterocyclic nitrogen الموجود في المواد العضوية عن طريق الاختزال إلى أمونيا NH_4-N ثم أكسدتها إلى نترات NO_3-N. وذلك يتم عن طريق عدد من الكائنات الحية الدقيقة في التربة Soil microorganisms (أنظر 4.1.7) والتي تعتمد في نشاطها الحيوي على ظروف التربة بشكل كبير. إن انخفاض درجات الحرارة والجفاف تقلل من نشاط هذه الكائنات. ولهذا فإن معدل انطلاق النيتروجين الميسر تنخفض. عندما يحرث السماد البلدي ويخلط بالتربة في فصل الربيع فإن التحلل نادراً ما يحدث، وبذلك تقل كمية النيتروجين الميسرة للمحصول في وقت هو في أمس الحاجة إليها. وإذا تلى هذا الفصل صيف أو خريف رطب تحدث معدنة سريعة للنيتروجين العضوي وتوفر نيتروجين في وقت يكون المحصول ليس في حاجة إليه، ويمكن لهذا الجزء أن يغسل ويكون عامل من عوامل التلوث.

هذا ليس مثالاً نظرياً ولكنه يحدث غالباً في الزراعة التطبيقية. في حالة زراعة بنجر السكر هناك معدلات عالية من النيتروجين تنطلق من الأسمدة العضوية في نهاية الموسم وهذه

أيضاً قد يكون لها تأثير سلبي على جودة المحصول (أنظر 2.3.5) هذا الانطلاق المتأخر للنيتروجين يفسر كذلك تراكم النترات التي تحدث غالباً في محاصيل الخضر التي تزرع معتمدة بشكل كامل على الأسمدة النيتروجينية العضوية.

وقد وجد كل من (1972) Manard and Barker إنه رغم زيادة استخدام السماد النيتروجيني غير العضوي فإن محتوى النترات في الخضراوات المعروضة في السوق الأمريكية حالياً لا تختلف عن محتواها في الخضراوات التي كانت تزرع في بداية القرن الماضي.

ويوجد العديد من الأمثلة عرضها الباحثون لتوضيح تحسين خصوبة التربة باستخدام إضافة الأسمدة في نفس الفترة الزمنية. وتم مناقشة الزيادة في إنتاجية المحاصيل بعد تحسين خصوبة التربة. (أنظر 1.3.6).

بدون شك فإن استعمال المركبات العضوية يزيد من محتوى المادة العضوية في التربة وهذا له تأثير على تحسين بناء التربة وزيادة احتفاظها بالماء وزيادة تغلغل مياه الأمطار والخواص الأخرى للتربة. هذه التأثيرات تكون أكثر وضوحاً في التربة الرملية. إن إسهامات الأسمدة العضوية في تركيب الدبال Humic substances في التربة فعالياً فيه أحياناً.

لقد وجد (1963) Schmalfuss and Kolbe بعد مضي 80 سنة من التجارب الزراعية الحقلية والتي كانت إحدى المعاملات فيها هي إضافة السماد البلدي بانتظام. إن أقل من 1 % من الكربون الموجود بالسماد العضوي المضاف يذهب إلى المواد الدبالية في التربة. يبدو أن محتوى التربة من الدبال يعتمد على نوع المحصول وعلى الدورة الزراعية أكثر

من اعتماده على إضافة الأسمدة العضوية ((1968) Bruin and Grootenhuis).

ناقش (1977) Cooke هذه المسألة وتوصل إلى ترتيب المحاصيل الحقلية والمعاملات الزراعية حسب مشاركتها في زيادة أو حفظ محتوى الترب من الكربون: برسيم / أعشاب مراعي + سماد بلدي > برسيم / رعي الأعشاب > الصفصفة > المحاصيل الزراعية.

كما تعمل الأسمدة غير العضوية على زيادة محتوى التربة من الدبال وذلك بزيادة إنتاج بقايا النبات التي تؤدي وبشكل غير مباشر إلى زيادة إنتاجية السماد البلدي. ذكر Frűchtenicht et al. (1978) أن إضافة الأسمدة المعدنية لمدة طوية أكثر من 100 سنة يؤدي إلى زيادة عمق الطبقة السطحية الغنية بالدبال للأراضي الزراعية بحوالي 3 أو 4أضعاف. لقد أشار (1974) Cooke إلى نتائج تجارب محطة Rothamsted بأنه لا توجد أضرار على الإنتاجية نتيجة الاستمرار في إضافة كميات كبيرة من الأسمدة. بعض نتائج هذه التجارب موضحة بالجدول (20.6). علماً بأن تربة حقل Broadbalk التي أخذت منها هذه البيانات هي تربة لومية طينية طمية Silty clay loam سبق أن تلقت موسمياً المعاملات العديدة الموضحة في السابق لمدة 130سنة.

يمكن الحصول على أعلى إنتاجية من إضافة السماد البلدي والأسمدة المركبة من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والسماد البلدي مع النيتروجين. يمكن للسماد البلدي أن يحل إلى حد ما محل الأسمدة غير العضوية.

عملياً يعتبر الإحلال الكامل للسماد البلدي محل الأسمدة غير العضوية اقتراح غير مقبول لعدم توفر الكميات التي تكفي للمحافظة على التوازن الغذائي. علاوةً على أن

الاستغناء عن إضافة الأسمدة المعدنية لا ينتج عنه فقط انخفاض في الإنتاج بل يؤثر كذلك في خصوبة الحيوان.

ويتضح ذلك من تجارب محطة هافلي التي أجريت على الأبقار الحلوب في East Anglia ببريطانيا Alther (1972), Balfour (1972).

Table 6.20 Yield of wheat and potatoes grown in rotation on Broadbalk field (Rothamsted England) (COOKE [1974])

Treatment	1973	1972	1971	1970
	Wheat, t/ha of grain			
None	2.4	3.4	2.5	2.3
PK	3.1	4.2	2.6	2.5
PK + 144 kg N/ha	3.9*	6.5	6.0	4.9
Farmyard manure	5.7	8.0	6.9	5.9
Farmyard manure + 96 kg N/ha	4.3	6.9	4.9	5.6
	Potatoes, t/ha of tubers			
None	13.5	10.8	7.8	12.6
PK	21.7	16.2	9.6	19.1
PK + 192 kg N/ha	49.2	38.8	46.6	41.8
Farmyard manure	47.1	40.2	36.2	43.8
Farmyard manure + 96 kg N/ha	48.8	41.4	49.4	49.1

Rates: Farmyard manure = 35 t/ha, PK = 73 kg P_2O_5, 110 kg K_2O, 16 kg Na and 11 kg Mg per ha

* Seriously lodged in 1973; yield with only 96 kg N/ha was better, 6.0 t/ha

عند التطبيقات العملية للزراعة العضوية يكون من الضروري إضافة مغذيات في النظام وذلك للمحافظة على مستويات الإنتاج. وهذه المغذيات المضافة يجب أن يكون مصدرها غير عضوي. قد تكون من أغذية الحيوان أو باستعمال أسمدة أخرى مقبولة مثل الجير Lime أو صخور الفوسفات Rock phosphate والعنصر الرئيسي الوحيد الذي يمكن

نظرياً أن يبقى دون إضافة سماد غير عضوي هو النيتروجين، وهذا يمكن توفيره عن طريق زراعة النباتات البقولية التي تعمل على تثبيته بالتربة، ولتحقيق ذلك يجب زراعة مساحة كبيرة هدفها أو الغرض منها تثبيت النيتروجين جزئياً.

إنتاجيات المحاصيل التي تم الحصول عليها في نهاية القرن السابق موضحة بالجدول 17.6 وذلك تحت ظروف ندرة السماد غير العضوي.

مغذيات النباتات كانت تسترجع بدرجة كبيرة للتربة كذلك الأسمدة البلدية وفضلات الحيوانات كانت مستعملة أيضاً. عند المقارنة بالمقاييس الحديثة يكون الإنتاج المتحصل عليه منخفضاً جداً. والاستغناء الكامل عن الأسمدة المعدنية في الزراعة الحديثة يعني العودة إلى تلك الإنتاجيات المنخفضة والظروف المقترنة بها والغير مرغوب فيها.

قراءات عامة

General Reading

ARNON, I.: Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute, Berne, 1975.

BAN IN, A. and KAFKAFI, U. (ed.): Agrochemicals in Soils. Pergamon Press, Oxford, New York Sydney, Toronto, Paris, Frankfurt, 1980.

BAULE, H. and FRICKER, C.: The Fertilizer Treatment of Forest Trees. BLV- Verlagsges. Munich, 1970.

FINCK, A.: (G) Fertilizer and Fertilizer Application. Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1979.

GREENWOOD, OJ.: Fertilizer use and food production: world scene. Fertilizer Research 2, 33-51 (1981).

GREENWOOD, OJ., CLEAVER, TJ., TURNER, M.K., HUNT, J., NIENDORF, K.B. and LOQUENS, S.M.H.: Comparison of the effects of nitrogen fertilizer on the yield, nitrogen content and quality of 21 different vegetables and agricultural crops. J. agric. Sci. 95, 471-485 (1980).

HERNANDO FERNANDEZ, V.: Fertilizers, Crop Quality and Economy, Elsevier Scientific Publishing Company, 1974.

HIGNETT, T. P.: Liquid fertilizer production and distribution. UNO, Second Interregional Fertilizer Symposium, Kiev, Ukraine, 1971; New Delhi, India, 1971.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Transition from Extensive to Intensive Agriculture with Fertilizers. 4th Colloquium International

Potash Institute, Berne (1969).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium in Tropical Crops and Soils. 10th Colloquium International Potash Institute, Berne (1973).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium Research-Review and Trends. Int. Potash Inst., Bern, 1978.

KOLENBRANDER, G. J.: Does leaching of fertilizers affect the quality of ground water at the waterworks? Stikstof, 15, 8-15 (1972).

LEWIS, D.A. and TATCHELL, J.A.: Energy in UK agriculture. J. Sci. Food Agric. 30, 449-457 (1979).

OERTLI, J.J.: Controlled-release fertilizers. Fertilizer Research 1,103-123 (1980).

PETER, A. v.: Fertilizer requirements in developing countries. Proc. No. 188, The Fertilizer Society, London, 1980.

SLACK, A. V.: Chemistry and Technology of Fertilizers. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, 1967.

SOCIETY of the SCIENCE of SOIL and MANURE, Japan: Proc. of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. c/o National Institute of Agricultural Sciences Tokyo, 1977.

TERMAN, G.L.: Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments and crop residues. Adv. Agron. 31, 189-223 (1979).

WETSELAR, R. and FARQUHAR, G.D.: Nitrogen losses from tops of plants. Adv. Agron. 33, 263-302 (J 980).

الفصل السابع

النيتروجين

1.7 النيتروجين في التربة وتيسره: Nitrogen in the Soil and its availability

1.1.7 مظاهر عامة / General aspects

النيتروجين هو أحد أكثر العناصر توزيعاً في الطبيعة، وأكبر كمية منه تكون موجودة في صورة مثبتة في صخور القشرة الأرضية والرواسب. وهذا مغاير للاعتقاد الشائع بأن الغلاف الجوي Atmosphere هو أكبر مخزن للنيتروجين الجزيئي N_2، ولكنه يأتي في الترتيب الثاني. حسب Delwiche (1970) فإن الغلاف الجوي يحتوي على حوالي 3.8×10^{15} طناً من النيتروجين الجزئي N_2، في حين أن الكمية التي توجد في الغلاف الصخري Lithosphere تكون حوالي 18×10^{15}طنا. تشارك التربة بجزء صغير فقط من نيتروجين الغلاف الصخري والمتيسر من نيتروجين التربة للنباتات بشكل مباشر لا يمثل إلاَّ جزءاً بسيطاً، ويتواجد في صورة نترات NO_3 أو أمونيوم NH_4.

ويعد النيتروجين عنصراً متحركاً جداً حيث يتواجد في دورة بين الغلاف الجوي والتربة والأحياء الدقيقة. هناك عدة عوامل وعمليات تكون مرتبطة في دورة حركة النيتروجين فبعضها فيزيائياً –كيميائياً Physico-Chemical والأخرى تكون حيوية Biological.

الخطوط العريضة لدورة النيتروجين في الطبيعة موضحة في الشكل 1.7

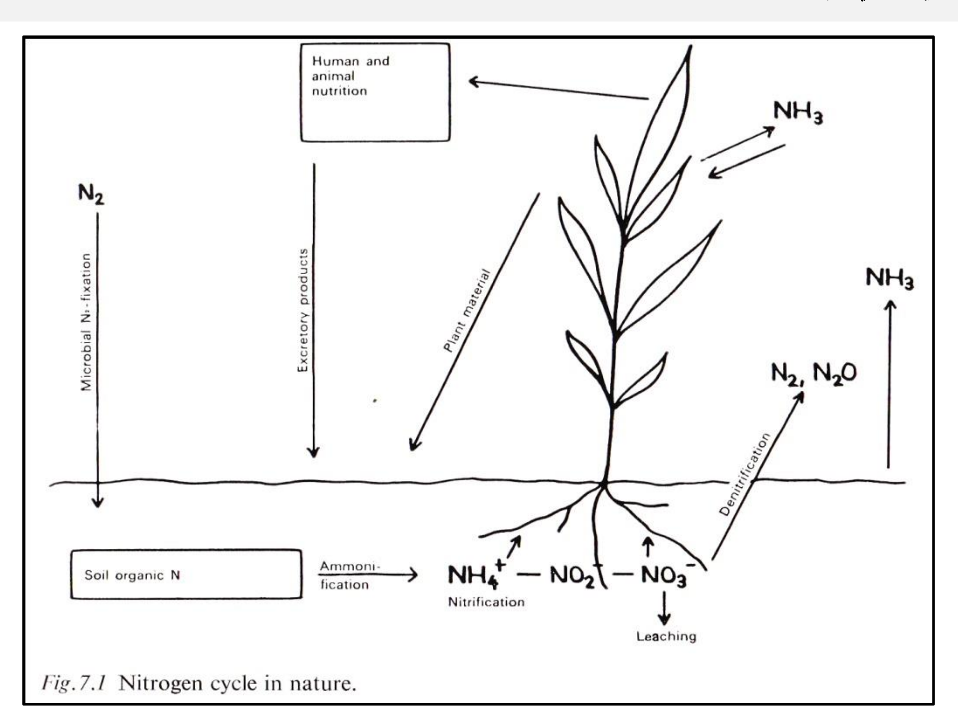


Fig. 7.1 Nitrogen cycle in nature.

2.1.7 التثبيت الحيوي لنيتروجين Biological Nitrogen Fixation

هي تلك العملية التي يتم بها تثبيت النيتروجين N من الصورة الجزيئية غير العضوية الموجودة في الهواء الجوي وتحويلها إلى الصورة العضوية، وهذه العملية تتم عن طريق أنواع مختلفة من أحياء التربة الدقيقة.

إن أهمية هذه العملية والتفاعلات الكيموحيوية Biochemistry التي تتم فيها قد سبق مناقشتها (أنظر 3.3.3).

قد يثبت النيتروجين كيميائياً بعملية Haber Bosch، التي يتفاعل فيها النيتروجين N_2 والهيدروجين H_2 معاً تحت ظروف عالية من الضغط ودرجة الحرارة وتنتج الأمونيا؛

$$N_2 + 3H_2 \leftrightarrows 2NH_3$$

هذه العملية هي أساس إنتاج أسمدة الأمونيوم، ورغم ازدياد كميات نيتروجين الغلاف الجوي التي يتم تثبيتها بهذه الطريقة وغيرها من الطرق الكيميائية، إلاَّ أن هذه الكمية لا تزال أقل بكثير من الكمية الإجمالية التي يتم تثبيتها طبيعياً بالكائنات الحية الدقيقة.

وحسب ما جاء في دراسات Chatt (1976) فإن إنتاج النيتروجين المثبت حيوياً في العالم يصل إلى حوالي 17.2×10^7 طن في السنة، وهو ما يعادل أربعة أضعاف النيتروجين المثبت بالطرق الصناعية الكيميائية.

هذا يعني أن تثبيت النيتروجين حيوياً يساهم في تزويد المحاصيل الزراعية بكميات كبيرة من النيتروجين الميسر، وقد تختلف كمية النيتروجين المثبتة من مكان لآخر، ويعتمد ذلك على عوامل التربة مثل الرقم الهيدروجيني PH وتوفر الفوسفور والبوتاسيوم ووجود العناصر الثقيلة وكذلك نظام الرطوبة في التربة. كذلك فإن محتوى التربة من المغذيات غير العضوية له أهميته في زيادة نشاط الكائنات الدقيقة المثبتة للنيتروجين.

الجدول (1.7) يوضح المعدلات التي يصل إليها النيتروجين المثبت حيوياً تحت أنظمة بيئة Ecosystems مختلفة ((Hauck (1971)

Table 7.1 Nitrogen gains from biological N_2 fixation (Hauck [1971])

Ecosystem	Range in reported values kg N/ha/year
Arable land	7–28
Pasture (non-legume)	7–114
Pasture (grass–legume)	73–865
Forest	58–594
Paddy	13–99
Waters	70–250

التثبيت الحيوي يكون أقل في الأراضي الزراعية ولكن بالنسبة للمراعي والغابات وإلى حد أقل في حقول الأرز فإن التثبيت الحيوي يكون مصدراً مهماً للنيتروجين، ويكون مرتفعاً جداً في الأنهار والبحيرات.

الكائنات الدقيقة غير حقيقية النواة Procaryouts فقط لها المقدرة على تثبيت النيتروجين الجزيئي. هناك 11 عائلة من 47 عائلة بكتيرية و6 من 8 عائلات Cyanophyceae لها المقدرة على تثبيت النيتروجين الجزئي ((Werner (1980)). بعض هذه الأنواع يكون مثبتاً حر المعيشة وهناك أنواع أخرى مثبتة تكافلية المعيشة Symbiotically.

من أهم أنواع البكتيريا حرة المعيشة أعضاء من Azotobacter و Beijernckia وSpirillumو Enterobacter.

ومثبتات النيتروجين المهمة من عائلة Cyanophyceae تتبع الأجناس Nostoc وAnabaena. والكميات المثبتة من النيتروجين بهذه الأجناس تكون عموماً منخفضة وبمعدلات حوالي 5 – 10 كيلوجرام نيتروجين / هكتار. وهناك بعض الاستثناءات فقد أظهرت الأبحاث التي أجراها Döbereiner et at 1972 أن الكميات التي تم تثبيتها بالدورة المحصولية تحت الظروف الاستوائية تصل إلى 60–90 كيلوجرام نيتروجين للهكتار. ومن المعروف في بعض الحالات أن البكتيريا حرة المعيشة مرتبطة مع جذور النبات ومن أمثلتها التشارك بين العشب الاستوائي Paspalum notatum وبكتيريا Azotobacter paspali، وهذه البكتريا توجد بطبقة الهلام Mucilage خارج جذور عشب Paspalum الذي يعتبر من أنواع نبات الكربون 4 (C_4) التي يعتقد أنها تفرز من جذورها كميات كافية من المادة

العضوية، التي تعتبر مصدر غذائي للبكتيريا.

إن هذا التشارك غير المتين بين النباتات الراقية والبكتيريا لا يمكن أن يطلق عليه أنه علاقة تكافلية، ولكنه مجرد تشارك بسيط. وأنواع النبات رباعية الكربون هي بالأخص التي لها القدرة على إنشاء مثل هذا التشارك البكتيري. ومن أهم هذه الأنواع المثبتة بكتيريا Spirillum Lipoferum على نبات الذرة.

الأنواع التي لها القدرة عل التثبيت في نباتات المحاصيل ثلاثية الكربون C_3 Plants هي من الأنواع Beijerinkia وأنواع Enterobacter في محصول الأرز، وأنواع Bacillus maceraus و Bacillus polymyxa في محصول القمح (Neyra and Döbereiner (1977)).

تعتمد كفاءة تثبيت النيتروجين لهذه الأنواع من البكتيريا بشكل كبير على الظروف البيئية، فمعظم البكتيريا التي تم التطرق لها سابقاً حساسة لظروف انخفاض PH وكذلك لارتفاع تراكيز الأكسجين. تحت الظروف اللا هوائية فإن بكتيريا Spirillum lipoferum يمكنها اختزال النيتريت NO^-_2 ولذا فإن هذه الأحياء تكون مختزلة للنترات Potential denitrifer. يمكن الحصول على معدلات عالية من التثبيت النيتروجيني عند درجة حرارة تربة عالية ($33\ ^0C$).

إن سعة تثبيت النيتروجين للبكتيريا الحرة المعيشة تكون أعلى في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. تلعب أنواع Cyanophyceae دوراً جوهرياً في ترب حقول الأرز، فهذه الطحالب الخضراء المزرقة Anabaena azollae تعيش في ترابط مع السرخس المائي aquatic

.(Azolla pinniata) fern

ولقد بين Watanabe et al. (1977) أنه بزراعة Azolla - Anabaena معاً في حقول الأرز أمكن الحصول على كميات كبيرة من النيتروجين N_2 واستغلالها في تغذية محصول الأرز لاحقاً. في بعض الحالات التي لم يستعمل فيها سماد نيتروجيني تم تقدير ما تثبته الطحالب الخضراء المزرقة بحوالي 30 كيلوجرام نيتروجين/هـ في حصدة واحدة للمحصول، وعن طريق نفس الباحثين تم الحصول على 22 حصدة من الأزولا Azolla نتج عنها إجمالي نيتروجين بحوالي 465 كيلوجرام/هـ عن طريق التثبيت سنوياً Watanabe et al. (1980) وبما أن مستوى الكربوهيدرات الذائبة غالباً ما يحدد تثبيت النيتروجين في البكتيريا حرة المعيشة، فإن ذلك قد يستفاد منه في تطوير بعض الأنواع من الكائنات الحية التي يمكنها أن تعيش تكافلياً مع النباتات الراقية.

خلال هذه العلاقة التكافلية تعمل الكائنات الدقيقة على تزويد العائل بالنيتروجين ويوفر النبات الكربوهيدرات الذائبة للكائنات الدقيقة. ومن بين هذه الأحياء الدقيقة التكافلية المعيشة أنواع الريزوبيا Rhizobium وبعض الأكتينومايسيتات Actinomyces مثل؛ Actionomyces alni و Actionomyces elaegni. وهذه الأحياء تعتبر ذات كفاءة جيدة في تثبيت النيتروجين.

أوضح Daly (1966) أنه تحت الظروف الملائمة للمعيشة التكافلية لنبات جار الماء alder (Alnus rugosa) مع Actionomyces alni فأنها تثبت حوالي 150 كيوجرام نيتروجين/هكتار/سنوياً. مثل هذه المعدلات العالية من التثبيت النيتروجيني يكون لها تأثيرات

هامة على اقتصاديات النيتروجين في ترب الغابات المرتبطة مع نبات جار الماء.

تعتبر أنواع الريزوبيا Rhizobium التي تعيش تكافلياً مع النباتات البقولية من أهم مثبتات النيتروجين الجوي. البرسيم Clover والصفصفة Lucerne عندما يكون نموها جيد، فإن عملية تثبيت النيتروجين تكون نشطة ويمكنها تثبيت 100–400 كيلوجرام نيتروجين/الهكتار/السنة.

وحسب ما ذكر Stewart (1967) فإن هناك حوالي 12000 نوع معروف من البقوليات والتي تعتبر عوائل لبكتيريا الريزوبيوم، وحوالي 200 نوع من هذه الأنواع البقولية تستعمل كمحاصيل زراعية. هذا العدد الكبير يؤكد الاهتمام العالمي البقوليات وإمكانياتها في تثبيت النيتروجين.

توجد ستة أنواع مختلفة معروفة من الريزوبيزم تم ذكرها في الجدول (2.7) مع أسماء عوائلها من النباتات. لكل نوع نبات عائل يوجد نوع محدد من الريزبيوم، فإذا ما أريد رفع كفاءة التثبيت النيتروجيني يكون من الأهمية أن تلقح أنواع البقوليات بالكتيريا الملائمة لها، فمثلاً بكتيريا Rhizobium trifolii قد تكون قادرة على تكوين عقد بكتيرية على جذور نبات Medicago والفول Vicia ولكن هذه العقد غير قادرة على تثبيت النيتروجين (Bjälfve (1963)).

إن حقن النبات العائل ببكتيريا الريزبيوم يبدأ باختراق البكتيريا لخلايا الشعيرات الجذرية، ثم تحاط البكتيريا داخل الخلية الجذرية بخيط ينمو داخل نسيج قشرة الجذر Cortical tissue ومن ثم يمكن للبكتيريا أن تهاجر من الخيط إلى داخل خلايا القشرة، ومن

هذه النقطة يبدأ تكوين العقد البكتيرية وتتكاثر الخلايا المحقونة أو المصابة. في هذه العملية تتحول البكتيريا إلى ما يعرف بالبكتيرويد Bacteroid ويكون حجمه أكبر حوالي 40 مرة تقريباً من حجم البكتيريا الأصلية. إن تكوين البكتيرويدات Bacteroids وثيق الصلة بعملية تكوين إنزيم النيتروجينيز والأنزيمات الأخرى الضرورية لعملية التثبيت النيتروجيني. (أنظر 3.3.3.) الصور (1.7) تبين العقد البكتيرية على جذور الفاصوليا Phaseolus وعلى جذور نبات Orithopus.

إن كمية النيتروجين التي يتم تثبيتها ببكتيريا الريزوبيوم تعتمد إلى حد كبير على الظروف الغذائية، معظم أنواع الريزوبيا تكون حساسة لظروف انخفاض PH في وسط التربة. عملية تكوين العقد البكتيرية وحجمها وعددها يزداد في وجود الكالسيوم (Lowther and Lonergan (1968)) بينما التراكيز العالية (< 1 مللي مول) من النترات والنيتريت والأمونيا واليوريا تحد من عملية تكون العقد البكتيرية ((Raggio and Raggio (1962). ((Subba-Rao and Vasantha (1968)). نتائج أكثر حداثة تقول أن هذه المركبات النيتروجينية تعمل على تواجد تراكيز مرتفعة من الأمونيوم NH_4^+ في الجذور التي تثبط الجين المسؤول عن بناء إنزيم النيتروجينيز ((Tubb (1974)). وهو أهم أنزيم في عملية تثبيت النيتروجين. من المعروف عموماً أن تثبيت النيتروجين عن طريق بكتيريا الريزوبيوم تزداد في النباتات التي تحصل على أحتياجاتها الكاملة من الفوسفات والبوتاسيوم (Gukova and Tjulina (1968))، (Gukova and Tjulina (1968) , Wu et al. (1969) , Mengel et al. (1974)).

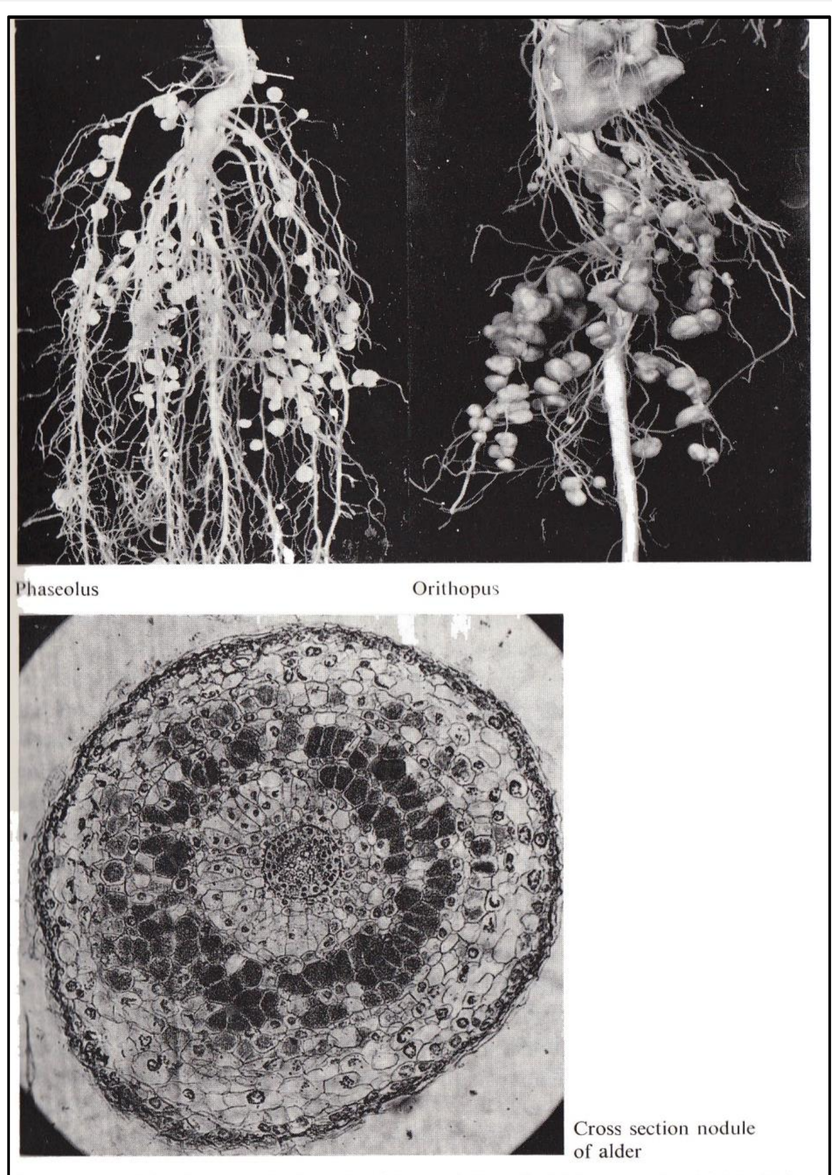


Plate 7.1 Nodulated roots of ***Phaseolus vulgaris*** (left) and ***Orithopus sativa*** (right). Below, transverse section through a young root nodule of *Alnus glutinosa*. (Photo: BECKING) Courtesy of: Bayerische Landesanstalt für Acker- und Pflanzenbau.

كذلك تعتبر عناصر الكوبلت والموليبدنيم ضرورية للكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بتثبيت النيتروجين ((Bond (1970).العقد البكتيرية تكون غنية بالأحماض الأمينية الذائبة مقارنةً بأجزاء النبات الأخرى.

إن التزويد بالأحماض الأمينية من العقد البكتيرية له علاقة وثيقة بدورة حياة النبات العائل. في الأيام الأولى القليلة بعد إصابة جذور النباتات البقولية الصغيرة، معظم الأحماض الأمينية المتكونة تنتقل إلى النبات العائل، وبذلك تعتمد البكتيريا كلياً على النبات العائل، والأحماض الأمينية المتكونة من أجل نمو العقد. في الأطوار الأخيرة، معظم الأحماض الأمينية المتكونة غالباً ما تنتقل إلى النبات العائل. انتقال هذه الأحماض الأمينية ينتهي بشكل مفاجئ بانتهاء مرحلة التزهير. وبذلك تبدأ العقد الجذرية بتزويد النبات مباشرة بالأحماض الأمينية خلال مرحلة النمو الخضري. إن كثافة هذا التزويد تعتمد بالطبع بشكل كبير على معدل البناء الضوئي وعلى كمية الكربوهيدرات التي يزود بها النبات العائل العقد البكتيرية Lindstrom et al. (1952) , Bach et al. (1958) , Bethlenfalvay and Philips .(1978) , Feigenbaum and Mengel (1979).

بالإضافة إلى تثبيت النيتروجين حيوياً فإن بعض النيتروجين الجوي يتم تثبيته عن طريق التفريغ الكهربائي في الجو (البرق) والتي تؤدي إلى أكسدة النيتروجين N_2. الكميات المثبتة بهذه الطريقة تكون صغيرة وتصل إلى كيلوجرامات قليلة من النيتروجين النتراتي/الهكتار/السنة تحت ظروف مناخية معتدلة، في المناطق الاستوائية تزداد الكمية بمقدار 10 كيلوجرام نيتروجين/هكتار/السنة.

3.1.7 تكوين الأمونيا Ammonification

عملية تثبيت النيتروجين تعتبر إحدى العمليات الحيوية الأساسية التي تؤثر في دورة النيتروجين وتيسره في التربة. علاوة على أن عمليات تحلل البروتينات Protelysis وتكوين الأمونيا Ammonification والنترتة Nitrification والدنترة Denitrification هي عمليات أخرى يتحكم فيها نشاط الأحياء الدقيقة.

إن ما تحويه المادة العضوية في التربة من النيتروجين هو أساساً في شكل أميني Amino (بروتين) وبدرجة أقل على شكل مركبات نيتروجين حلقية مختلفة Heterocyclic N compounds (القواعد النيتروجينية للأحماض النووية). إن عملية انطلاق النيتروجين الأميني من المادة العضوية يطلق عليها تحلل البروتين Proteolysis والاختزال من النيتروجين الأميني إلى الأمونيا NH_3 تسمى عملية تكوين الأمونيا Ammoniification.

هذه العمليات يمكن توضيحها بالمعادلات الآتية:

$$\text{Soil organic N} \rightarrow RNH_2 + CO_2 + \text{Additional products} + \text{energy}$$
$$RNH_2 + H_2O \rightarrow NH_3 + ROH + \text{energy}$$

في هاتين العمليتين تتحرر الطاقة التي تستعملها الأحياء الدقيقة Heterotrophic microorganisms والقادرة على إتمام التفاعلات. وتحتاج هذه الكائنات إلى الكربون العضوي كمصدر للطاقة. حسب Barber (1971). فإن معظم الأحياء النباتية الدقيقة Microflora بالتربة يكون لها القدرة على القيام بهذه التفاعلات المذكورة أعلاه. إن معدنة Mineralization النيتروجين العضوي بالتربة لا تكون دائماً مقتصرة على قلة وجود الكائنات الدقيقة ولكنها يمكن أن تعلق بعوامل أخرى تقلل من نشاطها من انخفاض

درجات الحرارة ونقص أو زيادة الماء. أيون الأمونيوم الناتج من عملية تكوين الأمونيا يمكن أن يتأكسد بسهولة إلى نتريت NO^{-}_{2} أو نترات NO^{-}_{3} إذا كان الأكسجين متوفراً وتكون العوامل البيئية الأخرى ملائمة.

4.1.7 النترتة: Nitrification

التأكسد الحيوي للأمونيا إلى نترات يسمى النترتة وهي تتم في خطوتين؛ في الأولى تتأكسد الأمونيا إلى نتريت NO^{-}_{2} الذي يتأكسد في الخطوة الثانية إلى نترات NO^{-}_{3}، هذه العملية تقوم بها بكتيريا ذاتية التغذية Autotrophic أو بمعنى آخر تقوم بها البكتيريا التي تحصل على الطاقة من أكسدة الأملاح غير العضوية وتستعمل ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون. هناك مجموعتان من البكتيريا المتخصصة تشترك في إتمام هذه العملية؛ ففي الخطوة الأولى تتأكسد الأمونيا NH^{+}_{4} إلى نتريت NO^{-}_{2} وفي الثانية يتأكسد النيتريت إلى نترات NO^{-}_{3}. هناك العديد من الأنواع والأجناس تعرف بأنها تؤكسد الأمونيوم والنيتريت، فالأجناس المؤكسدة للأمونيوم تتضمن Nitrosomonas و Nitrosolobus و Nitrosospira. وكل هذه الأجناس عزلت من مختلفة في حقل تجارب لمدة طويلة في بريطانيا، وكذلك من ترب الشاي الحامضية في بنجلاديش وسيريلانكا (1976) Walker.

من الأشياء الهامة وجود Nitrosomonas فقط في الترب المسمدة بالسماد البلدي وبقايا الحيوانات الأخرى في حين أن Nitrosolobus توجد في كل مكان.

هذه الملاحظات تدل على أن بكتيريا Nitrosolobus تلعب دوراً هاماً في كثير من الترب في عملية النترتة، وإنها أكثر أهمية من بكتيريا Nitrosomonas.

(Bhuija and Walker (1977)). النتريت الذي تنتجه البكتيريا ذاتية التغذية المؤكسدة للأمونيوم يتأكسد بسرعة إلى نترات بفعل أنواع بكتيريا Nitrobacter.

جميع مؤكسدات الأمونيوم والنتريت هوائية إجبارية. في الترب المغمورة بالمياه Water logged أكسدة الأمونيوم تكون محدودة. علاوة على أن بكتيريا النترتة تفضل ظروف أكثر اعتدالاً إلى حمضية خفيفة. الجدول (3.7) يوضح أن الترب ذات PH المنخفض تسبب إعاقة كبيرة للأحياء الدقيقة المؤكسدة للأمونيوم NH^{+}_{4} ((Munk (1958)).

Table 7.3 Rate of nitrification of NH_4^+ in relation to soil pH (20 mg NH_4-N added to the soil) (Munk [1958])

Incubation duration in days	mg nitrate N formed/100 g soil pH 4.4	pH 6.0
14	1.78	8.0
21	2.30	12.0
35	4.72	21.4

خطوتا الأكسدة من الأمونيوم NH^{+}_{4} إلى نترات NO^{-}_{3} هي كالآتي:

$$2NH^{+}_{4} + 3O_2 \rightarrow 2HNO_2 + 2H^{+} + 2H_2O$$
$$2HNO_2 + O_2 \rightarrow 2NO^{-}_{3} + 2H^{+}$$

الصافي Net $$2NH^{+}_{4} + 4O_2 \rightarrow 2NO^{-}_{3} + 4H^{+} + 2H_2O$$

إن صافي المعادلة يوضح أن عملية النترتة Nitrification مقرونة بانطلاق أيون الهيدروجين H^{+} وبذلك تكون النتيجة عملية زيادة حموضة التربة Acidification.

العلاقات الخاصة بأكسدة الأمونيوم NH^{+}_{4} وتغير الرقم الهيدروجيني وتكوين النترات NO^{-}_{3} يمكن ملاحظتها بوضوح في تجربة Duisberge and Bührer (1954) والنتائج الرئيسية لهذه التجربة مبينة في الشكل (2.7).

وخلال فترة الحضانة التي تستمر 14 يوماً تقريباً يكون كل الأمونيوم قد تأكسد إلى NO^{-}_{3} في التربة إلى أعلى محتوى لها والذي يختفي لاحقاً بسبب نشاط بكتيريت النيتروباكتر Nitrobacter. وبشكل عام فإن النتريت NO^{-}_{2} لا تتراكم في التربة لأنها تظهر و تتم أكسدتها بوساطة النتيتروباكتر. ومن الواضح أن مؤكسدات كلاً من الأمونيوم والنيتريت تعمل في تسلسل. تتحول الأمونيا بسرعة إلى نترات وهذا يؤكد بأن الظروف الملائمة لبكتيريا النترتة موجودة في التربة، كما هو الحال في المثال المبين بالشكل (2.7). التربة المستعملة كانت طميية رملية كلسية خصبة ورقم PH فيها 7.8، وقد أجريت التجربة معملياً في ظروف حرارة ورطوبة التربة المثلى. أما في الحقل فغالباً ما تحدث النترته بمعدل منخفض. كما تم ذكره في السابق، في الترب ذات PH المنخفض والترب الغدقة، فعملية النترتة قد تعاق أو يتم تثبيطها بالكامل. وفي ظل هذه الظروف فإن التربة تتراكم فيها الأموينوم NH_4-N. وتقل عملية النترتة كذلك بشكل كبير في الترب الجافة ((1966) Sabey).

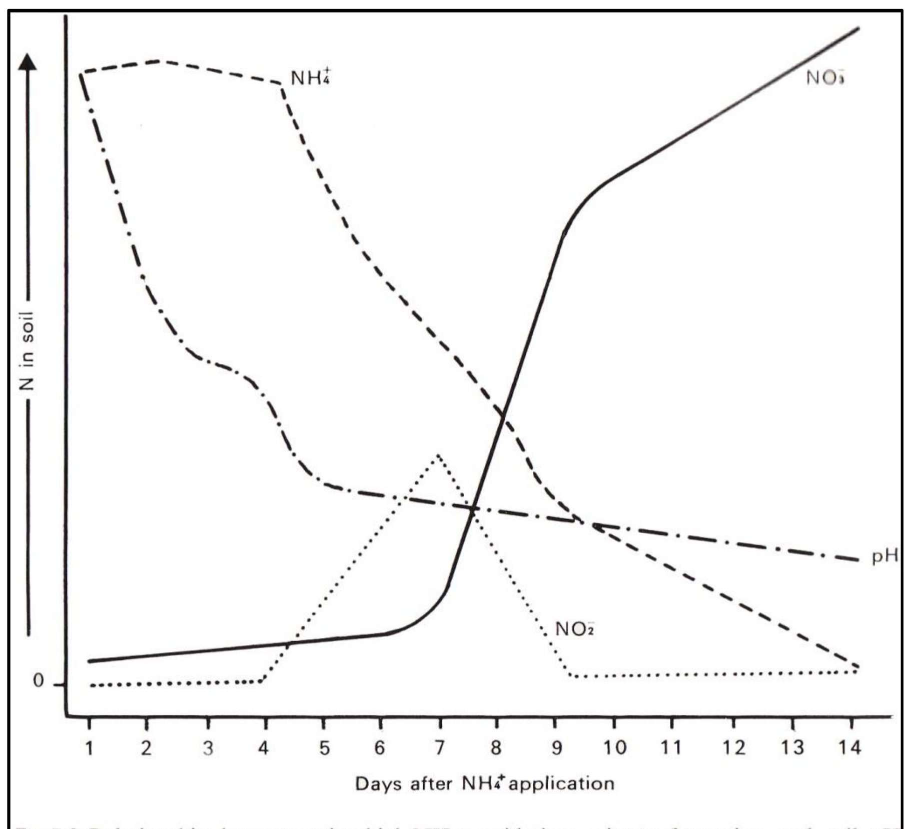


Fig. 7.2 Relationship between microbial NH_4^+ oxidation, nitrate formation and soil pH (after DUISBERG and BUEHRER [1954]).

إن بكتيريا النترتة تؤكسد كلاً من الأمونيوم المتحرر من عملية النشدرة والأمونيوم المضاف عن طريق الأسمدة. أمونيوم السماد تتحول أيضاً إلى نترات، والمعدل الذي تحدث عنده عملية النترتة يعتمد على الظروف السائدة في التربة. (Gasser and Iordanou (1967)).

عملياً تتم إضافة النيتروجين إلى التربة في صورة أمونيوم NH^+_4، ولكن المحصول

يمتص النيتروجين بشكل رئيسي في صورة نترات.

5.1.7 الدنترة: Denitrification

هناك عدة أنواع من البكتيريا الموجودة في التربة لها القدرة على اختزال النترات والنيتريت إلى غازات نيتروجينية (N_2, N_2O, NO) تنطلق في الهواء الجوي، هذا الاختزال يسمى بالدنترة ويمكن توضيحه بالتسلسل الاختزالي التالي:

$$NO^-_3 \rightarrow NO^-_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

إن بكتريا الدنترة التي تقوم بهذه التفاعلات هي إجبارية التنفس، باستثناء تلك التي تستعمل النترات NO^-_3 في غياب الأكسيجين ((Focht (1978).

قد تعمل النترات بدل الأكسجين كمستقبل طرفي للإلكترونات التي تنتج خلال عملية التنفس اللاهوائية. من كميات النيتروجين التي يمكن فقدها من نظام التربة عن طريق عملية الدنترة يمكن أن تختلف اختلافا كبيراً.

فحسب ما جاء عن Allison (1966) فقد تتراوح الكميات المفقودة من غاز النيتروجين ما بين 5– 50% من النيتروجين الكلي المضاف. حتى في الترب الزراعية جيدة التهوية يفقد بعض النيتروجين بعملية الدنترة لأن الأكسجين غالباً ما يكون غير منتظم خلال التربة وبعض الأجواء من مقطع التربة تكون لاهوائية ((Wolderdrop (1968).

إن عملية الدنترة تحدث في ظروف ارتفاع رطوبة التربة وتعادل Ph وارتفاع درجات الحرارة وانخفاض معدل انتشار الأكسجين مع وجود المادة العضوية الذائبة والنترات. لذا فإن الترب الرملية جيدة التهوية تقل فيها معدلات الدنترة عن الترب الطينية (أنظر الجدول 4.7).

لقد وجد ((Dilz and Woldendrop (1960) أن فقد النيتروجين خلال عملية الدنترة يكون عالٍ جزئياً عند توفر الجذور الحية في وسط التربة، حيث يعتقد أن إفرازات الجذور تحفز بكتيريا الدنترة وبذلك تزيد من فقد النيتروجين. وهذا يؤيد ما وجده Trolldenier (1973) في تجارب المحاليل الغذائية على محصول الأرز بأن زيادة نشاط الأحياء الدقيقة في منطقة الجذور نتج عنه انخفاض في محتوى الأكسجين في الوسط الجذري. وبذلك تحسنت الظروف الملائمة لعملية الدنترة.

Table 7.4 Nitrogen losses due to denitrification from various soil types under permanent grassland (according to DILZ and WOLDENDORP [1960])

Soil type	N-loss in % of applied N
Sand	11–25
Clay	16–31
Peat	19–40

وكما تم ذكره، فإن الأراضي المخصصة لزراعة الأرز تكون جزئياً حساسة لعملية الدنتره، لأنها تصبح لاهوائية بطبيعة الحال ((Ponnamparuma (1965). قد يكون فقد النيتروجين أكبر مما هو متوقع؛ ففي التجارب الحقلية المكثفة على الشعير تم قياس انتقال النيتروجين إلى نظام التربة / النبات. فقد وجد Kowalenko and Cameron (1977) أن نيتروجين السماد غير المسترجع (الغير مستفاد منه) يمكن تؤيله إلى عملية الدنترة. باستخدام نظير النيتروجين N-15 كسماد، أتضح أن النيتروجين غير المسترجع من السماد في المحصول والتربة قد تم حسابه في سنة واحدة فوصل إلى حوالي 69 % وفي السنة التالية إلى حوالي 54% من كمية السماد الأصلية المضافة للتربة، والباقي غير المسترجع كان 31 %، 46%

على التوالي وهو يمثل الفقد في عملية الدنترة.

معدلات الدنترة كانت في أقصاها في فصل الربيع وبداية الصيف، ويتزامن هذا مع أقصى معدلات امتصاص النيتروجين بوساطة النبات.

إن إضافة المواد المثبطة لعملية النترتة (N-Serve) لها تأثير بسيط على فقد النيتروجين بعملية الدنترة.

وقد ذكر Werner (1983) أن الدنترة تلعب دوراً أساسياً في تحول النيتروجين في المقياس العالمي، وهذا موضح في الجدول (5.7) الذي يعطي بيانات عن دورة النيتروجين بين الغلاف الجوي والتربة. بشكل عام يعد تسرب النيتروجين في صورة غاز من وسط التربة إلى الهواء الجوي ضياعاً في المواد الغذائية للتربة ولذلك فهو غير مرغوب فيه.

Table 7.5 Global turnover between soil N and atmospheric N (data from WERNER [1980]), in 10^6 t/year

Gain		Loss	
Industrial production	46	Denitrification	200–300
Biological fixation	100–200	NH_3-Volatilization	165
NO_3^-/NO_2^- precipitation	60		
NH_3-precipitation	140		

ومن ناحية أخرى هناك كميات كبيرة من النترات تدخل في عملية الدنترة عند تخللها للطبقات الأرضية الأكثر عمقاً وبذلك يقل معدل انتقال النترات إلى المياه الجوفية Kolenbrander (1972). فعملية الدنترة قد يكون لها تأثير نافع جداً في منع تلوث المياه بالنترات.

إن احتمالات تأثير أكسيد النيتروز Nitrous oxide في تلوث الهواء الجوي كانت

موضع الاهتمام خلال السنوات الأخيرة. لقد تطور الافتراض القائل بأن أكسيد النيتروز الناتج من الدنترة والذي يصل الترب والمياه الطبيعية ثم يتحرر في الهواء الجوي وينتقل إلى طبقة الستراتوسفير Stratosphere والتي يبدأ عندها في تكسير جزئي لطبقة الأوزون التي تحمي الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية الضارة حيوياً. هناك عامل قلق كبير بأن الزيادة في استعمال الأسمدة النيتروجينية قد يرفع مستويات أكسيد النيتروز N_2O في الهواء بسبب دنترة النترات المشتقة من هذه الأسمدة، وبذلك تؤدي إلى تكسير طبقة الأوزون الواقية.

لقد تم مراجعة هذا الموضوع حديثاً بوساطة Bermner (1978) الذي أستنتج عدم وجود تأثيرات ناتجة عن زيادة استعمال الأسمدة النيتروجينية قد يكون لها أثر مدمر لطبقة الأوزون. هناك نقطة هامة فيما يخص هذا الموضوع. وهي حقيقة أنه لم يلاحظ وجود زيادة في تركيز N_2O في الهواء الجوي يمكنها أن توازن الزيادة الكبيرة التي حدثت مؤخراً في استعمال الأسمدة النيتروجينية.

إحدى الصعوبات الرئيسية التي تواجه دراسة أكسيد النيتروز في الهواء الجوي، هي حساسية الطريقة التي يقاس بها والتي تم التوصل إليها مؤخراً، وذلك باستخدام طريقة Gas chromatography. هذا التطور يجب أن يكون له تأثير دائم لإجراء المزيد من الدراسات حول عملية الدنترة في الحقل.

6.1.7 مثبطات عملية النترتة: Nitrification inhibitors

لتجنب فقد الكثير من النترات نتيجة الدنترة أو الغسيل فقد تطورت أنواع مختلفة

من مثبطات النترتة في السنوات الأخيرة. وأكثرها أهمية ما يلي:

نيترابيرين Nitrapyrin (2-Chloro - 6 - [trichloromethyp] Pyridine N-serve

2-سفانيلاميدثيازول ST(2-Sulphanilamide thiazole)

تيرازول Terrazole (5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4thiadizole)

أزيد البوتاسيوم KN_2 (Potassium azide)

ثنائي كبريتيد الكربون CS_2 (Carbon disulphide)

ثنائي سيانيد آميد Dicyandiamide $(H_2N - \underset{\underset{NH}{\|}}{C} - NH - C \equiv N)$

النيترابيرين هو أكثر مثبطات النترتة التي تم دراستها Huber et al. (1977).

إن المثبطات تعمل على إعاقة الأكسدة الحيوية للأمونيوم بحيث لا يتحول إلى نيتريت ومن ثم فإن تكوين النترات يثبط أيضاً، وبالتالي فإن فقد النيتروجين بوساطة الغسيل أو الدنترة يتوقف نهائياً.

في دراسة أجراها Touchton et al. (1978) لمعرفة سلوك النيترابيرين في ترب مختلفة، وجدوا أن المركب الكيميائي غير متحرك في التربة ويكون مرتبط بالمادة العضوية. يعتمد تحلل النيترابيرين على درجة إدمصاصه بوساطة غرويات التربة، لذلك فإن معدل تحلله كانت أعلى في التربة الرملية والترب ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية وأقل في الترب الطينية الطميـــية الغنية بالدبال. يستمر تحلل النيترابيرين بمعدل مرتفع في الترب المتعادلة عنه في الترب الأكثر حامضية.

حسب ما ورد في الدراسة التي أجراها (1978) .Touchton et al أن فترة نصف العمر لتحلل النيترابيرين كانت حوالي 4 أسابيع ولكن هذا يختلف باختلاف ظروف التربة والنشاط الحيوي فيها. إن تراكميات النيترابيرين في التربة من الأمور التي يجب اجتنابها، ومن نواتج بنائه الأساسية (Chloro-Picolinic acid 6)، فكلها يمتصها النبات وقد تكون سامة له.

والمنحنى النموذجي لتحلل النيترابيرين موضح في الشكل (3.7) كما جاء في البحث الذي أجراه (1978) .Touchton et al.

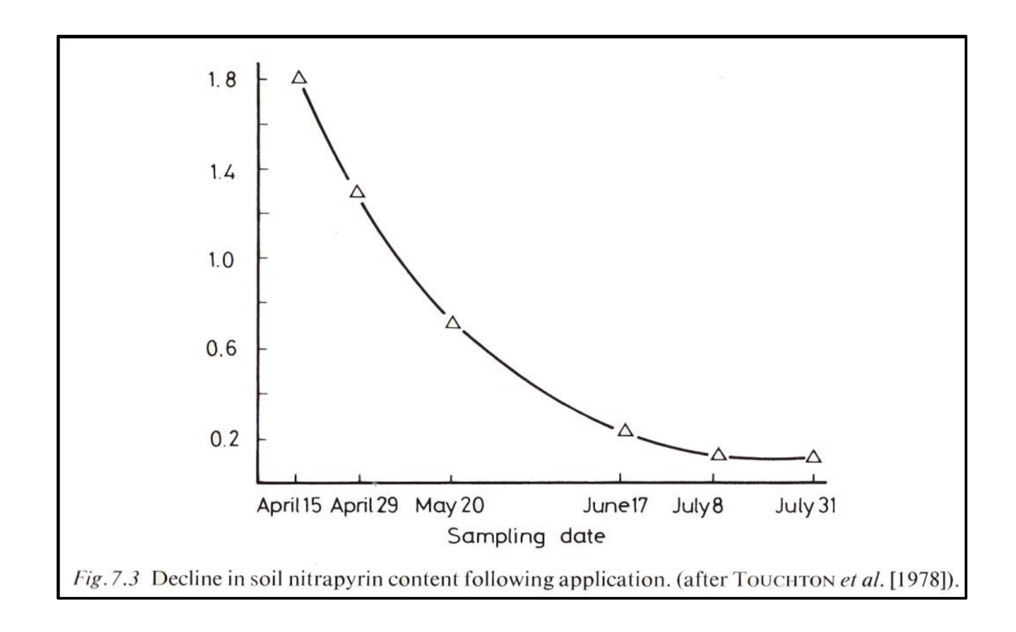


Fig. 7.3 Decline in soil nitrapyrin content following application. (after TOUCHTON *et al.* [1978]).

لقد بين (1977) .Ashworth et al أن ثنائي كبريتيد الكربون CS_2 يعتبر مثبطاً فعالاً لعملية النترتة. هؤلاء الباحثون وجدوا أن هذا المركب يفضل استعماله عن النيترابيرين

لأنه يمتاز بأنه طيار ولذلك فإن CS_2 ينتشر بسرعة في التربة، إن تأثيره المثبط كان أسرع من النيترابيرين.

هناك نتائج مشجعة مماثلة تم الحصول عليها بإضافة (Na_2CS_3) Trithiocarbonate الذي سرعان ما يتحول إلى CS_2 في التربة حسب المعادلة:

$$Na2CS_3 \rightarrow Na_2S + CS_2$$

يمكن خلط مركب Trithiocarbonate مع محاليل الأسمدة المحتوية على نترات قبل إضافتها إلى التربة. كما أن Dicyandiamide يعرف بأنه مثبط لعملية النترتة وعلاوة على ذلك فإنه يثبط إنزيم Urease وبذلك يعيق تحلل اليوريا (Sommer and Rossig (1978)).

قد يتم إنتاج Dicyandiamide في التربة من خلال تحلل (Rathsack (1978).Calcium cyanamide).

مثبطات النترتة يتم إضافتها بشكل أساسي في فصل الخريف مع أسمدة الأمونيوم. وقد أجريت تجارب حقلية عديدة في ولاية إنديانا بأمريكا استمرت خمسة سنوات وأوضحت نتائج إيجابية للنيترابيرين عند استعماله مع الأمونيوم أو اليوريا في فصل الخريف، هذه الإضافة الخريفية للنيتروجين تعطي نفس إنتاج الحبوب عند تقسيم جرعة النيتروجين على دفعتين (خريف وربيع) دون استخدام النيترابيرين. إن إضافة النيترابيرين لم تقلل من فقدان النيتروجين فقط بل نتج عنها انتظام في استخدام النيتروجين بوساطة جذور النبات وكذلك ارتفاع محتوى البذور من البروتين (Huber et al. (1980)).

هناك تأثيرات إيجابية لهذا النوع قد تم الحصول عليها بوساطة

Sommer and Rossig) و ((Huber et al. (1977 و(((Hendrikson et al. (1978a) 1978))). من ناحية أخرى فقد وجد (Hendrikson et al. (1978a)). أن تأثير النيترابيرين في الترب الرملية كان بسيطاً. وفي تجربة أضيف فيها سماد الأمونيوم إلى نباتات البطاطس حدث غسيل للأمونيوم داخل طبقات التربة الأكثر عمقاً، وإن التلامس بين النيترابيرين والأمونيوم كان ضعيفاً. وفي هذه الحالة فإن إضافة النيترابيرين خفض إنتاج درنات البطاطس.

7.1.7 تثبيت الأمونيوم : Ammonium Fixation

تمتاز النترات NO3 بأنها غير متحركة في التربة وإمكانية إدمصاصها بحبيبات التربة نادرة وذلك عكس الأمونيوم NH^+_4 التي تدمص بقوة إلى معادن الطين ذات الشحنات السالبة وذلك يرجع إلى خواصها الكتيونية.

يمكن للأمونيوم أن يرتبط اختياريا بمعادن الطين 1:2 مثل معادن Montmorillonites وVermiculites وIllites وتسمى هذه العملية بتثبيت الأمونيوم. وهي تشبه عملية تثبيت البوتاسيوم التي تم وصفها في .2.1.10 لذلك فإن الأمونيوم والبوتاسيوم يتنافسان على نفس المواقع المختارة للارتباط بمعادن الطين.

وقد توقع كل من (Bartlett and Simpson 1967) بأن تثبيت سماد البوتاسيوم انخفض بإضافة الأمونيوم وحسب بحوث التي قام بها (Sippola et al. (1973)) على الترب الفنلندية فإن الأموينوم تثبت بكميات أكبر من البوتاسيوم بوساطة الفيرميكيولايت.

وبسبب عملية التثبيت هذه فإن الترب الغنية بمعادن الطين 1:2 تحتوي غالباً على كميات كبيرة من الأمونيا NH^+_4 في صورة مثبتة والتي قد تتراوح ما بين 2000–3000

كيلوجرام نيتروجين/هكتار (Scherer and Mengel (1979)). في تحليل أجري لعدد كبير من عينات التربة وجد Bremner (1959) أن حوالي 5–6 % من النيتروجين الكلي الموجود في الطبقة الأفقية العليا من التربة يوجد في صورة أمونيوم مثبت. في حين أن هذه النسبة كانت 20% أو أكثر في الجزء الأكثر عمقاً من قطاع التربة لاحتوائه على نسبة أعلى من الطين.

بشكل عام يمكن القول أن الأمونيا NH^{+}_{4} المثبتة لا يمكن أن تتبادل مع أيون البوتاسيوم K^{+} ولا تكون ميسرة لجذور النبات.

وقد ظهرت نتائج حديثة توصل إليها كل من Kowalenko and Cameron 1978)) و1981) Mengel and Scherer) تشكك في هذا الافتراض بشكل كبير.

في تجارب أجراها كل من ((1978) Kowalenko and Cameron) استعملوا فيها N-15 وجدوا أن سماد الأموينوم تم تثبيته بسرعة بعد إضافته مباشرة. ولكن يتم امتصاصه بوساطة المحصول في أطوار متأخرة خلال فترة النمو.

أما تجارب في تجارب Mengel and Scherer 1981 فقد وجدوا أن حوالي 100–300 كيلوجرام نيتروجين/هكتار من الأمونيوم المثبت قد تحرر خلال فترة النمو ودخل دورة النيتروجين في التربة.

إن تحرر الأمونيوم كان أكثر انطلاقا في الطبقات العميقة من التربة (60–100 سم) ويتم هذا خلال فترة النمو الرئيسية، وعند نهاية فترة النمو لوحظ زيادة معدل تثبيت الأمونيوم.

وقد وجد (Scherer 1980) أن ترب الراسب الطيني بشكل خاص أظهرت تحولاً عالياً نسبياً للأمونيوم المثبت في حين أن تحول الأمونيوم في الترب البازلتية الأصل Basaltic كان بسيطاً. لقد لاحظ (Van Praag et al.1980) وجود تحول بمعدل عالٍ في الأمونيوم NH^+_4 المثبتة في الترب الطينية الرسوبية (Loess Soils).

من الواضح أن التركيب المعدني للطين في التربة يلعب دوراً جوهرياً في تحديد مدى تثبيت وتحرر الأمونيوم NH^+_4. وكنتيجة لعمليات الأدمصاص والتثبيت فإن تحرك الأمونيوم في التربة لابد أن يكون أقل من تحرك النترات (Dan Kofoed and Kjellerup 1970) NO^-_3 ولهذا السبب نرى أن النيتروجين يتم غسل معظمهُ من التربة في صورة نترات NO^-_3 بينما يغسل في صورة أمونيوم NH^+_4 بكميات قليلة جداً، وهذا يعني أن محتوى مياه الصرف من النترات عموماً يكون أعلى بحوالي 100 ضعف من الأمونيوم (Williams 1970).

يكون تركيز النترات في محلول التربة أعلى من الأمونيوم، عدا في الترب الحامضية.

8.1.7 عملية تمثيل وانطلاق النيتروجين غير العضوي

Assimilation and release of inorganic nitrogen

سماد النيتروجين المضاف للتربة يدخل في تفاعلات تحول النيتروجين المختلفة في وسط التربة مثل استخدام اليوريا التي تنقسم في التربة إلى أمونيوم وثاني أكسيد الكربون عن طريق إنزيم Urease. الأمونيوم الناتجة يمكن أن يمتصها النبات أو الأحياء الدقيقة أو قد تدمص أو تثبت على حبيبات التربة، أو تتأكسد إلى نترات NO^-_3، إن النترات التي تنشأ بهذه الطريقة وكذلك النترات المضافة مباشرة إلى التربة يمكن أن يحدث لها غسيل أو عملية

دنترة أو تمتصها النباتات.

وفي تجارب أجراها Gasser et al. (1967) باستخدام N-15 من كبريتات الأمونيوم $(NH4)_2SO_4$ المضاف إلى الترب الرملية، وجدوا أن كمية كبيرة من سماد النيتروجين قد اندمجت بفعل الكائنات الحية الدقيقة بسرعة بعد الإضافة مباشرة، وفي مرحلة متأخرة انطلقت هذه الأسمدة وأصبحت ميسرة للنبات. كذلك في تجارب أجراها (Stanford et al. 1970) أوضحت أن سماد النيتروجين يندمج بسرعة مع الأجزاء المختلفة من النيتروجين العضوي في التربة. ومن هذا يتضح أن إضافة سماد النيتروجين تمد المحصول بمصدرين للنيتروجين أحدهما مباشر والآخر غير مباشر وهو الذي يتحرر من معدنة المركبات النيتروجينية العضوية.

إن كمية النيتروجين المثبتة بوساطة عملية تقييد حركة الأمونيوم NH4 بالكائنات الدقيقة Microbial immobilization قد بينها عدة باحثين. فمثلاً Myers and Paul (1971) وجدوا أن القيم ما بين 20–40 كيلوجرام نيتروجين/هكتار قد زادت بحوالي 7–15 كيلوجرام نيتروجين/ هكتار بإضافة التبن. ودقة البيانات لا تزال تفتقر إلى التمييز بين النيتروجين المقيد والنيتروجين المتحرر نتيجة النشاط الحيوي كما أن معادن الطين قد تعمل على تحرر وتقييد الأمونيوم NH^+_4.

النيتروجين غير المتحرك والنيتروجين الممعدن من النيتروجين العضوي في التربة لهما تأثير متعاكس. إن صافي معدل تحرر النيتروجين غير العضوي من هاتين العمليتين له أهمية كبرى في تغذية النبات. إن تثبيط عملية تمثيل النيتروجين حيوياً بالتبخير Fumigation أو

الإشعاع Irradiation أدى إلى تحسين تيسر النيتروجين للنباتات الراقية (Jenkinson et al. 1972). بشكل عام يمكن القول أن صافي ما ينطلق من النيتروجين غير العضوي (NH^+_4 , NO^-_3) يكون أعلى عندما تنخفض نسبة C/N للمادة العضوية في التربة (Quastel 1965). هذا يعني أنه كلما كانت المادة العضوية غنية بالنيتروجين فستكون إمكانية معدنته عالية. هذه العلاقة مبينة بوضوح في الشكل (22.2) من البيانات التي أوردها (Van Dijk 1968) في الترب التي تكون فيها معدلات C/N في المادة العضوية عالية فإن معدل معدنة النيتروجين لها يكون منخفض. والعكس صحيح.

حسب (Van Dijk 1968) فإن أخذ نسبة C/N في الاعتبار مع المحتوى الكلي للنيتروجين في التربة تعطي دعم هام لجهد التربة في معدنة النيتروجين.

إن جزء النيتروجين الممعدن خلال فترة النمو تكون له أهمية في إنتاج المحاصيل والكمية يمكن أن تتفاوت بدرجات كبيرة. ففي بعض الترب تنطلق بضع كيلوجرامات نيتروجين/هكتار بعملية المعدنة. لكن تحت الظروف الملائمة قد يصل النيتروجين المنطلق إلى 100 كيلوجرام/هكتار وأكثر. لقد نشر (1968) Blandتقريراً عن معدنة حوالي 70 – 100 كيلوجرام نيتروجين / هكتار خلال موسم النمو الواحد لعشب Lilium perenne و Grass-clover swards تحت ظروف مناخ غرب سكوتلندا. لقد بين (Vömel 1965/66) كما في الجدول (6.7) بأن التربة الزراعية في وسط أوروبا متوسط معدنة النيتروجين بها تتراوح بين 10–50 كيلوجرام/ هكتار هذه النتائج بينت أيضاً أنه في السنة الواحدة يتمعدن حوالي 0.5–1 % من النيتروجين الكلي في الطبقة السطحية للتربة.

هناك بعض الصعوبات التي تواجه تحديد معدل المعدنة في التربة منها تحلل المادة العضوية بالأحياء الدقيقة في التربة والتي لا تعتمد فقط على محتواها في التربة ولا على نسبة C/N ولكن تعتمد إلى حد كبير على رطوبة ودرجة حرارة التربة والظروف المناخية المحيطة. وتحدث أعلى معدلات المعدنة في ظروف الدفء والرطوبة في حين أنها تعاق كثيراً في ظروف الجفاف وفترات البرد وذلك لبطء تحلل المادة العضوية وصعوبة تحرر مركبات النيتروجين. إن معدل المعدنة يمكن أن يختلف بدرجة كبيرة فيما بين السنوات، لذا فالتربة التي تعطي في سنة واحدة حوالي

40 كيلوجرام نيتروجين/هكتار يمكنها إنتاج ضعف الكمية في سنة أخرى بوساطة المعدنة. في أغلب الأحيان يتم حساب معدلات المعدنة بأخذ الفرق. ولا يؤخذ في الاعتبار انطلاق الأمونيوم NH^{+}_{4} من معادن الطين، لأنها تؤدي إلى رفع احتمالات الخطأ في التقدير.

Table 7.6 Total nitrogen in the upper soil layer (0–20 cm), C/N ratio and the rate of nitrogen mineralization (according to data of VÖMEL [1965/66])

Soil	C/N*	Total N* kg/ha	Mineralization kg/ha/year	Mineralized N in % of total N
Sand	12.5	1,590	9	0.57
Loam (alluvial)	8.7	4,650	43	0.93
Loam (loess)	9.4	2,850	11	0.39
Clay (basalt)	9.8	4,950	36	0.73

* Includes organic and inorganic nitrogen

9.1.7 نيتروجين محلول التربة Nitrogen of the soil solution

إن تركيز النيتروجين الذائب في محلول التربة يمكن أن يتغير بدرجة كبيرة في فترة

قصيرة وذلك بسبب العمليات العديدة التي تؤثر في تحولات النيتروجين في التربة. هذا ينطبق بشكل خاص على النترات حيث الظروف الملائمة لعملية النترتة ينتج عنها زيادة في محتوى النترات في محلول التربة. عند ارتفاع درجة الحرارة في فصل الربيع تزداد تهوية التربة وبذلك يزداد تركيز النترات في محلول التربة ((Harmsen (1959). عندما يكون احتياج المحصول عالي فإن جذور النبات تمتص النترات بسرعة، ((Page and Talibudeen (1977).

لقد بين ((White and Greenham (1967) أنه في مزارع الفاكهة تحت الغطاء العشبي وجدت كمية قليلة من النترات بينما في تربة أخرى مشتبهة غير مزروعة فإن محتوى النترات في التربة أخذ في الزيادة حتى فصل الصيف عندما تم غسلها للطبقات الأعمق بفعل أمطار الصيف.

مستويات النترات في محلول التربة قد تصل إلى 20–30 مليمول بعد إضافة الأسمدة النيتروجينية. في الترب الخصبة عادةً ما تكون التراكيز من 2–20 مليمول وذلك بناءاً على معدل المعدنة وامتصاص النباتات للنترات، إن محتوى النترات في محلول التربة عادةً ما يكون له أهمية رئيسية كبيرة في التغذية النيتروجينية للنبات. في تجارب حقلية أجراها (Bartholomew (1971 وجد أن استرجاع نيتروجين السماد N-15 بوساطة نبات الذرة كان له علاقة بكمية الأمطار التي سقطت خلال فترة التجربة، حيث وجد أن الاسترجاع كان عالياً تحت ظروف الأمطار المنخفضة.

هذه النتائج توافقت مع الملاحظات التي تقول بأن النترات قد تتراكم في فترة الجفاف في الطبقات السطحية للتربة والتي جاء بها ((Page and Talibudeen (1977).

عند المستويات المنخفضة لرطوبة التربة سيكون تيسر النيترات منخفض (Mengel and Casper (1980)).

2.7 النيتروجين في فسيولوجي النبات Nitrogen in Physiology

1.2.7 فكرة عامة: General

إن محتوى المادة الجافة النباتية من النيتروجين يصل إلى حوالي 2–4% وهذا يبدو قليلاً مقارنةً بالكربون الذي يصل محتوى المادة الجافة منه إلى حوالي 40%، ومع ذلك فإن النيتروجين يعتبر أساس للعديد من المركبات العضوية الهامة مثل الأحماض الأمينية والبروتينات والأحماض النووية. وتساهم النباتات الراقية بكميات كبيرة من النيتروجين الذي يتحول بشكل مستمر من الصورة غير العضوية إلى الصورة العضوية. وأهم مصدر غير عضوي مرتبط بهذا التحول هو النترات NO^-_3 والأمونيوم NH^+_4.

2.2.7 الامتصاص Uptake

النباتات يمكنها أن تمتص وتؤيض كل من النترات والأمونيوم، ودائماً تفضل النترات كمصدر لنمو النبات لكن هذا يعتمد على نوع النبات والعوامل البيئية التي ستناقش لاحقاً. المحاصيل الزراعية تمتص النترات أساساً حتى عندما تضاف أسمدة الأمونيوم NH^+_4 وذلك لأن الأحياء الدقيقة تؤكسد الأمونيوم في التربة.

معدل امتصاص النترات يكون عموماً عالياً، وحسب تجارب Ansari and Bowling (1972) على نبات عباد الشمس فإن الامتصاص يحدث ضد الجهد الكهروكيميائي وهذا يدل على أن امتصاص النترات يكون حيوياً. النترات الموجودة في

الجذور يمكن أن تتبادل مع نترات محلول التربة.

وحسب تقرير Morgan et al. (1973) بأن تدفق النترات يكون عملية سلبية (غير حيوي) في حين أن امتصاصه يكون عملية حيوية. هناك أدلة أخرى على السيطرة الأيضية لامتصاص النترات قدمها كل من Rao and Rains (1976).

السؤال الذي ما زال مفتوحاً ويحتاج لإجابة هو ما إذا كان امتصاص الأمونيوم بوساطة النبات يكون أيضاً حيوياً؟

عدد من التقارير دلت على أن امتصاص كل من صور النيتروجين تعتمد على درجة الحرارة وبانخفاضها تقل معدلات الامتصاص (Zsoldos (1972). Clarkson and Warner (1972)).

عند إضافة النوعين من الأيونات بتركيزات متساوية لنبات Ryegrass أتضح أن امتصاص الأمونيوم NH^+_4 أكثر سرعة من امتصاص النترات NO^-_3 عند درجات حرارة منخفضة، (Clarkson and Warner (1979)).

لقد ناقش المؤلفون النتائج المبينة على الملاحظات في ظروف المناطق المعتدلة بأوروبا واستنتجوا أن معظم امتصاص النيتروجين بوساطة محصول الحبوب يكون دائماً كاملاً قبل الوصول إلى متوسط درجة حرارة التربة إلى 1̊2م (Hay (1976)). ومن الواضح أنه تحت مثل هذه الظروف فإن الأفضلية يجب تكون بإضافة النيتروجين في صورة أمونيوم NH^+_4 لماذا يكون امتصاص الأمونيوم أكثر سرعة وخاصةً في ظروف درجات الحرارة المنخفضة، وهذا الموضوع غير واضح. لقد أقترح Clarkson and Warner (1979) أن هذا يمكن أن يعزى

إلى الاختلافات في التغيرات الفيزيائية في الأجزاء المختلفة من غشاء الخلية أكثر من الاختلافات في حساسيات درجة الحرارة لعمليتي النقل.

هناك بعض الدلائل بأن الأمونيا NH_3 هي الصورة المفضلة أكثر من الأمونيوم في امتصاص نيتروجين الأمونيوم. الأمونيا NH_3 كجزيء متعادل يمكن أن ينفذ خلال أغشية الخلية كما أقترح Moore (1974).

إن أهم فرق بين امتصاص النترات NO^-_3 والأمونيوم NH^+_4 هو حساسيتها للرقم الهيدروجيني. إن أفضل امتصاص للأمونيوم يكون في الوسط المتعادل ويقل بانخفاض الرقم الهيدوجيني. والعكس صحيح فعند امتصاص النترات نجد أنها تكون سريعة عند القيم المنخفضة من الرقم الهيدروجيني ((Rao and Rains (1976).

وقد اقترح هؤلاء الباحثون إن انخفاض امتصاص النترات عند القيم العالية من الرقم الهيدروجيني يرجع إلى تأثير المنافسة مع أيونات الهيدروكسيد OH^- التي تحد من امتصاص ونقل النترات NO^-_3. لقد درس Michael et al. (1965) امتصاص الأمونيوم والنترات بوساطة أنواع مختلفة من النباتات في تجارب قصيرة المدى ووجدوا أن النباتات قد امتصت صورتي النيتروجين بمعدلات متساوية عند رقم الهيدروجين (PH=6.8). أما عند الرقم (PH=4) فقد كان امتصاص النترات أعلى بدرجة كبيرة من امتصاص الأمونيوم كما هو مبين بالجدول (7.7).

Table 7.7 Uptake of labelled NO_3^- and NH_4^+ by young barley plants in relation to the pH of the root medium (according to MICHAEL *et al.* [1965])

pH	NH_4^+	NO_3^-
	in mg N/pot	
6.8	34.9	33.6
4.0	26.9	43.0

يتأثر امتصاص الأمونيوم أيضاً بحالة الكربوهيدرات في النبات، فارتفاع مستوياتها يجعل النبات يفضل امتصاص الأمونيوم، ومن المرجح تحفيز تمثيل الأمونيا NH_3 بوساطة توفير الهياكل الكربونية والطاقة ((Kirkpy and Hughes (1970) , Michael et al. (1970)) إن امتصاص النترات NH_3^- انخفض بتنافسه مع نيتروجين الأمونيوم NH_4^+-N كما أوضح ((Blondel and Blanc (1974)) عند استخدامهم نباتات صغيرة من القمح. ومن ناحية أخرى لم يتأثر امتصاص نيتروجين الأمونيوم NH_4^+-N بالنترات.

قد تمتص النباتات غاز الأمونيا عن طريق المجموع الخضري من خلال الثغور وهذا يعتمد على الضغط الجزئي للأمونيا في الجو. لقد بين Farquhar et al. (1980) أن مقدار امتصاص الأمونيا بنبات الفاصوليا Phaseolus vulgaris كان مقداره صفر عند ضغط جزئي منخفض يصل إلى (5 nbar2) عند درجة حرارة 62م. بزيادة الضغط الجزئي للأمونيا NH_3 يزيد مقدار الامتصاص الكلي وبانخفاض الضغط الجزئي للأمونيا تفقد من النبات.

والمصدر الذي تتحرر منه هذه الأمونيا غير واضح. حسب تجارب Hooker et al. (1980) على نباتات القمح كان فقد الأمونيا أعلى عند الطور المتقدم عنه عند الطور المبكر للنمو.

هؤلاء الباحثون اقترحوا أن تحرر الأمونيا نتج من تحلل البروتين في الأوراق المسنة (القديمة). بما أن تحرر الأمونيا يعتمد بدرجة كبيرة على الحرارة فقد يكون التنفس الضوئي Photorespiration مصدراً محتملاً للأمونيا.

الأمونيوم في المحلول قد يكون ساماً للنبات. وتنتج السمية أساساً من الأمونيا NH_3 التي تؤثر في نمو النبات وعملية الأيض Metabolism عند مستويات تركيز منخفضة حيث تكون الأمونيوم عندها غير ضارة. إن توزيع الأمونيوم والأمونيا في المحلول المائي يمكن وصفه بعلاقة التوازن الآتية:

$$NH_3\ (aq.) \leftrightarrows NH^+_4 + OH^-$$

NH_3 (aq.) $\leftrightarrows$ NH_3 المذاب في الماء

هذه المعادلة توضح أن تركيز الأمونيا (المحلول) يعتمد كثيراً على الرقم الهيدروجيني للوسط؛ لذا فسمية الأمونيوم يتحكم فيها الرقم الهيدروجيني ((Bennett (1974)). هذه العلاقة نجدها موضحة بالشكل (4.7) الذي يتضح فيه استمرار نشاط الأمونيوم مع الرقم الهيدروجيني.

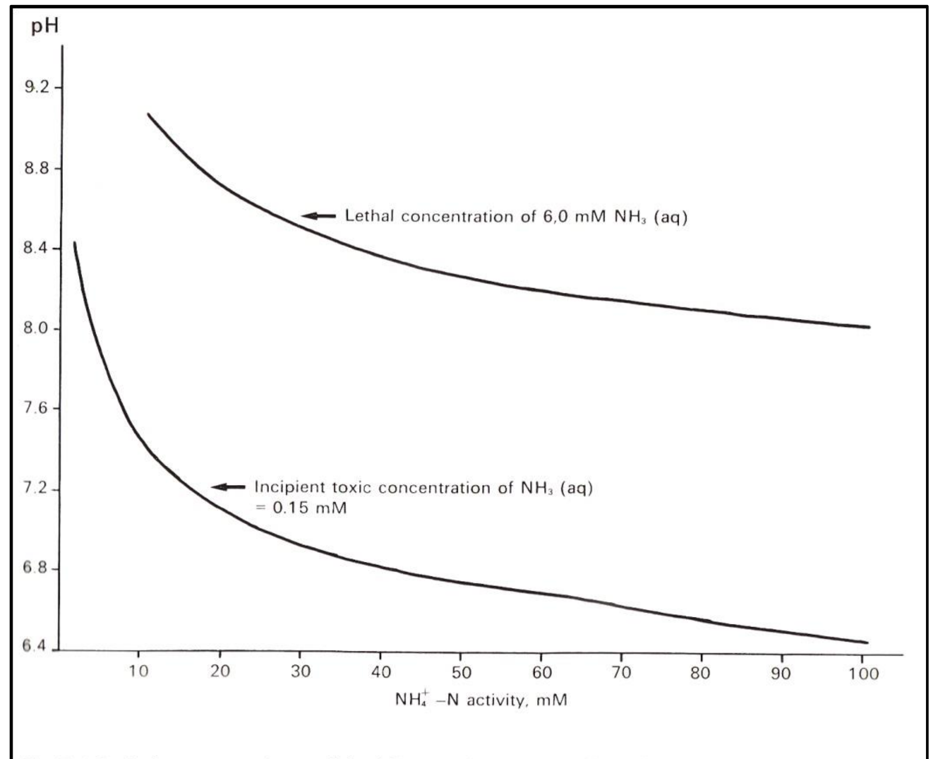


Fig. 7.4 Lethal concentration and incipient toxic concentration of NH_3 (aq) in relation to the pH and NH_4^+-N activity (after BENNETT [1974]).

التركيز الأولي السام لمحلول الأمونيا يكون حوالي 0.15 مليمول أما التركيز المميت فهو حوالي 6 مليمول. توافق الرقم الهيدروجيني ونشاط الأمونيوم NH^+_4 التي تنتج هذه المستويات من السمية تكون موضحة بالشكل (4.7).

من الواضح أن التأثيرات السامة الأمونيوم الناتجة من محلول الأمونيا من المرجح أنها تحدث عند مستويات عالية من الرقم الهيدروجيني. محلول الأمونيا يؤثر في نمو الجذور بشكل خاص.

لقد بين ((Bennetti and Adams (1970) أن جذور بادرات القطن الصغيرة قد تضررت بتركيزات محلول الأمونيوم المنخفضة إلى قيمة 0.2 مليمول. نمو الجذور كذلك يتأثر بالتراكيز المنخفضة الأمونيا ((Baker et al. (1970)). إن آلية سمية الأمونيا غير مفهومة حتى الآن.

ولقد أقترح (Bennetti (1974 أن محلول الأمونيا يمكن أن تكون سامة لأنها تتخلل أغشية الخلية. وهذه النظرة دعمتها التجارب التي قام بها (Heber et al. (1974، حيث أوضحت أن الغشاء الخارجي للكلوروبلاست كان غير نفاذ للأمونيوم لكنها سمحت بانتشار محلول الأمونيا NH_3.

وهذا قد يفسر تأثير سمية الأمونيوم بوساطة فاعلية محلول الأمونيا في فصل عملية التحول الضوئي للفوسفات العضوي Photophosphorylation عند غشاء Thylakoid للبلاستيدات الخضراء ((Gibbs and Calo (1959)). هناك أيضاً دليل بأن محلول الأمونيا يمنع عملية التنفس ((Vines and Wedding (1960)). الأمونيوم أيضاً يمكن أن تكون سامة لنمو النبات خاصةً في البيئة الحامضية جداً. كذلك يتأثر كل من نمو الجذور والمجموع الخضري ((Maynard and Barker (1969)) عند قيم PH الحامضية والمتعادلة فإن الكثير من الأنواع النباتية تتحمل المستويات العالية الأمونيوم NH_4-N لأن تركيز أيون الهيدروجين H^+ يخفض تركيز محلول الأمونياNH_3.

يمكن لأنواع عديدة من المحاصيل النمو بشكل جيد عند مستويات من الأمونيا تقدر بعدة مليمولات شريطة أن يكون الرقم الهيدروجيني في حدود 4–6. هذا قد تم

توضيحه في عدة محاصيل تتضمن القمح ((Blondel and Blane (1973) و ((Breteler and Smith (1974) وبنجر السكر ((Breteler (1973)، والأرز ((Dijkshoorn and smunadji (1972). في حالة محصول الأرز لوحظ أن الأمونيوم NH_4-N هي المصدر المفضل.

لقد لاحظ Blondel and Blanc (1973) أن أعلى معدلات الامتصاص النيتروجين كانت عند وجود كل من الأمونيوم NH_4-N والنترات NO_3-N في المحلول الغذائي. هذه الملاحظات تتفق مع التقارير السابقة لكل من Drouineau Blank (1961) حيث وجدوا أن إضافة الأمونيوم NH_4-N إلى بيئات النترات NO_3-N نتج عنه معدلات عالية في النمو.

نتائج مشابهة تم الحصول عليها في تجارب مع محاليل غذائية مخففة Cox and Reisenauer (1973). هذا التأثير المفيد الأمونيوم NH_4-N في وجود النترات NO_3-N على النمو يحتاج إلى المزيد من الدراسة باستخدام تقنية استنبات دقيقة Flowing Culture Technique والتي تم تطويرها حديثاً واستخدمت لدراسة امتصاص النترات NO^-_3 Clement et al. (1978). كيفية تأثير الأمونيوم المشجع على النمو غير معروفة. وحيث أن عملية اختزال النترات إلى أمونيا تحتاج إلى طاقة، فيمكن القول بأنها تعوض بإضافة أمونيوم ويتم حفز الطاقة لتحويلها إلى عمليات أيضية أخرى مثل امتصاص الأيونات والنمو. وقد لوحظ أن الأمونيوم بتركيزات منخفضة يمكن أن يحث على اختزال النترات.

هناك للتأثيرات النافعة للتراكيز المنخفضة للأمونيوم تناولها كل من

Kirkby (1968) and Kirkby and Hughes (1970) اليوريا بصفة عامة تتحول إلى أمونيوم بأنزيم Urease في التربة. من الممكن للنباتات امتصاص اليوريا مباشرة رغم أن معدل امتصاصها يظهر أنه منخفض مقارنةً بالنترات.

الجدول (8.7) يبين أن نباتات عباد الشمس النامية في وسط مائي ارتفعت فيها المادة الجافة بإضافة 2 مليمول نترات عنه بإضافة 8 مليمول يوريا. إن استعمال اليوريا لم ينتج عنه انخفاض في امتصاص النيتروجين فقط، ولكن سبب أيضاً اضطراباً في أيض البروتين وحدوث تراكمات واضحة لمادة Aspargine ((Kirkby and Mengel (1970)).

Table 7.8 Influence of the form and level of nitrogen nutrition on the yield, nitrogen percentage and N-uptake by sunflower plants (KIRKBY and MENGEL [1970])

N-concentration of the nutrient sol. mM	Yield g DM/24 plants	N-content % in DM	Total N-uptake mg/24 plants
2 Nitrate	25.4	5.80	1,473
2 Urea	11.6	3.30	384
4 Urea	14.9	5.67	696
8 Urea	17.1	5.79	987

درس Hentshel (1970) امتصاص الأمونيوم واليوريا باستعمال نظير النيتروجين(Labelled N) وقد وجد أن امتصاص معدل اليوريا أقل من امتصاص الأمونيوم بوساطة نبات الفاصوليا Phaseolus Vulgaris . أظهرت مجموعة من الأبحاث الحديثة صور مختلفة من امتصاص النيتروجين وتأثيراتها على النمو والأيض (Raven and Smith (1976) , Haynes and Goh (1978) , Kirkby (1981))

3.2.7 أجزاء النيتروجين Nitrogen Fraction

تحول النيتروجين في النبات يتميز بثلاث خطوات رئيسية موضحة في الشكل (5.7). الخطوة الأولى تتكون من تحول النيتروجين غير العضوي إلى مركب نيتروجين عضوي منخفض الوزن الجزيئي.

التفاصيل والعمليات المختلفة التي تخص هذه الخطوة سبق مناقشتها. في الخطوة الثانية يحدث بناء مركبات النيتروجين ذات وزن جزيئي عالٍ مثل البروتينات والأحماض النووية.

مركبات النيتروجين العضوية منخفضة الوزن الجزيئي وخاصةً الأحماض الأمينية تعمل كوحدات تساعد في تفاعلات البناء. الخطوة الثالثة تمثل تكسير الجزيئات الكبرى Macromolecules المحتوية نيتروجين بفعل إنزيمات التحلل المائي Hydrolyzing enzymes هذه الخطوات الثلاث لتحول النيتروجين تمثل الطرق التي تربط بين أجزاء النيتروجين الرئيسية الثلاث الداخلة في أيض النيتروجين: النيتروجين غير العضوي، ومركبات النيتروجين العضوية منخفضة الوزن الجزيئي، ومركبات النيتروجين العضوية العالية الوزن الجزيئي Macromolecular. الشكل (5.7).

كل الأجزاء الثلاثة تتأثر بتغذية النبات وخاصةً إضافة النيتروجين. إن زيادة مستوى تغذية النيتروجين تعمل على زيادة جميع الأجزاء ولكن هذه الزيادة تختلف من جزء لآخر. هنالك الكثير من الدلائل التجريبية توضح أن محتوى المركبات الأمينية الذائبة (الأحماض الأمينية الحرة والأمينات والأميدات) زيادتها تكون كبيرة في حين أن زيادة المحتوى

البروتيني تكون محدودة بالإضافة الكبيرة للسماد النيتروجيني.

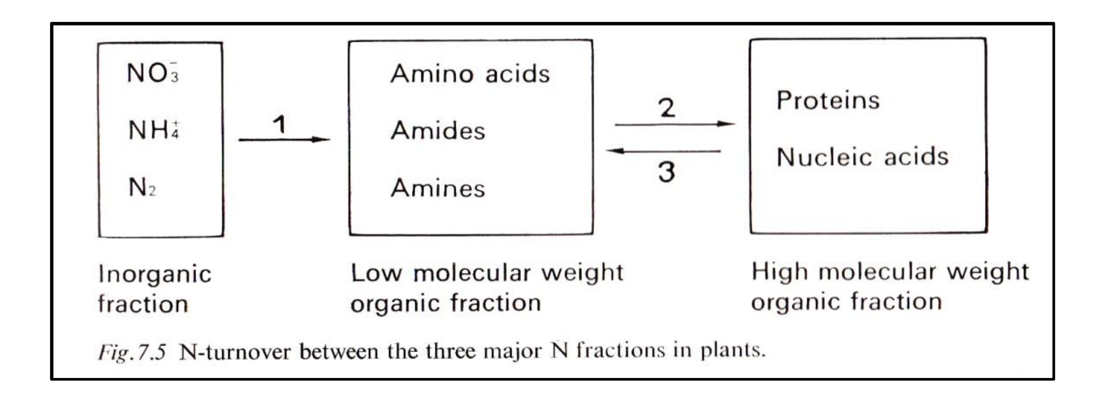


Fig. 7.5 N-turnover between the three major N fractions in plants.

هذه النتيجة يوضحها الجدول (9.7) الذي يبين حدوث الاختلاف البسيط إذا أضيف النيتروجين في صورة الأمونيوم أو النترات. ((Mengel and Helal (1970).

Table 7.9 Effect of N application on N fractions in upper parts of spring wheat at tillering stage (MENGEL and HELAL [1970]); relative values in brackets

N-rate, g N/pot	Protein N	Soluble amino N	Glutamate
	in Mol × 10^{-3}/100 g FM		
0	30.5 (100)	0.358 (100)	0.033 (100)
0.6 as NH_4-N	37.2 (122)	1.005 (283)	0.354 (1070)
0.6 as NO_3-N	39.2 (128)	1.398 (392)	0.450 (1360)

يمكن أن يلاحظ من الجدول (9.7) محتوى Glutamate بشكل خاص يستجيب للزيادة في إضافة النيتروجين. إن مركبات Glutamate و Glutamine هما أول حامضين أمينيين يتم بنائهما خلال عملية تمثيل الأمونيا. تتراكم الـ Glutamate و Aspartate

وأميداتها عند إضافة مستويات عالية من النيتروجين غير العضوي للنباتات. في مثل هذه الظروف يتضح أن تمثيل النيتروجين غير العضوي يكون بمعدل أكثر من الأحماض الأمينية المستعملة في بناء البروتين.

نقص المعادن الثقيلة ((1956) Possingham) والظروف الملحية ((Pluenneke and Joham (1972)) يمكن أن ينتج عنها تراكم مركبات من الأحماض الأمينية الذائبة في أنسجة النبات. كذلك النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم أحياناً تظهر ارتفاعا في محتواها من الأحماض الأمينية الذائبة وفي بعض الحالات يزداد محتواها من البروتين ((Hsiao et al. (1970)). وحسب ما ذكر Kock and Mengel (1974) فإن مثل هذه الزيادة في محتوى البروتين تحت ظروف نقص البوتاسيوم تنتج عن انخفاض معدل النمو. في المادة النباتية الخضراء يكون النيتروجين البروتيني هو أكبر أجزاء النيتروجين ويصل إلى حوالي 80–85% من النيتروجين الكلي. النيتروجين في الأحماض الأمينية يمثل حوالي 10% والنيتروجين الأميني الذائب حوالي 5% من النيتروجين الكلي في المادة النباتية. الكثير من المحاصيل تزرع أساساً لإنتاج البروتينات. البروتينات في مادة النبات الخضراء تكون أساساً بروتين الأنزيمات بينما في البذور والحبوب يكون الجزء الرئيسي للبروتين مصنعاً من بروتينات مخزونة. لفهم وظيفة البروتين فإنه من الضروري التمييز بين بروتينات الأنزيم والبروتينات المخزنة وبروتينات البناء توجد بصورة رئيسية في الأغشية الحيوية Biological membranes. النيتروجين هو أيضاً عنصر ضروري في تكريب الأنزيمات المساعدة Coenzymes المختلفة. إن محتوى البروتين لأجزاء النبات الخضراء أو المخزون في النسيج قد يتأثر بإضافة النيتروجين.

وهذا الموضوع نوقش سلفاً.

4.2.7 الانتقال Translocation

النيتروجين الذي يمتص عن طريق جذور النبات ينتقل في الخشب إلى أجزاء النبات العليا. وتعتمد الصورة التي ينتقل بها النيتروجين على مصدر النيتروجين الممتص وأيض الجذور.

وطبقاً لما جاء به Martin (1970) فإن معظم الأمونيوم الممتصة تقريباً تمثل في أنسجة الجذور ويعاد توزيعها في صورة أحماض أمينية. ويمكن للنترات أن تنتقل للأغصان والأوراق بدون تغير لكن هذا يعتمد على قدرة الجذور على أختزال النترات. لذا فالنترات والأحماض الأمينية هي الصور التي ينتقل بها النيتروجين في النظام الوعائي للنباتات الراقية. يوجد عصارة الخشب عموماً 70 – 80 % أحماض أمينية غنية بالنيتروجين مع نسبة N/C أكبر من 0.4. يعتقد أن وظيفة هذه الجزيئات الغنية بالنيتروجين (Glutamine , Asparagine) هي نقل النيتروجين مع أقل كمية من الكربون (Pate (1971)).

في البقوليات المثبتة للنيتروجين يعتبر Asparagine هو الناتج الرئيسي للنيتروجين المصنع الذي ينتقل، كما هو الحال في الترمس الأبيض White Lupin (Atkins et al. (1975)).

من ناحية أخرى فإن عدداً من أنواع البقوليات كفول الصويا Soya bean فإن The Ureides و Allantion و Allantonic acid هي المجموعة النيتروجينية التي تنتقل

عبر الخشب بعد عملية تثبيت النيتروجين ((Streeter (1979).

النترات عامةً لا وجود لها في اللحاء بغض النظر عن صور تغذية النيتروجين والأحماض الأمينية التي تعد وسلة لانتقال النيتروجين. إن عملية انتقال النيتروجين تعتبر مهمة في حياة النبات، الأوراق الحديثة يتم تزويدها بالأحماض الأمينية حتى تصل مرحلة النضج ((Milthorpe and Moorby (1968). في دراسة Burr et al. (1958) حول الامتصاص وتوزيع النيتروجين باستخدام الأمونيوم ذو النيتروجين N^{-15} على نباتات بنجر السكر.

لقد وجدوا أن أعلى نيتروجين مميز (Labelling) كان في الأوراق مع وجود أعلى معدل نمو. الأوراق القديمة أعطت أقل نسبة نيتروجين مميز. إن شدة أيض النيتروجين وخاصةً معدل تمثيل البروتين يبدو أنها تتحكم في النيتروجين بوساطة الاختلاف في أجزاء النبات.

عندما يكون تزويد النيتروجين من وسط انتشار الجذور غير كافٍ، فإن النيتروجين يتحرك من الأوراق القديمة ليغذي أعضاء النبات الحديثة. لهذا السبب تظهر أعراض نقص النيتروجين أولاً على الأوراق القديمة التي يتحلل فيها البروتين مائياً Hydrolyzed (Proteolysis) وتنتج أحماض أمينية يعاد توزيعها إلى القمم والأوراق الحديثة التكوين. تحلل البروتينات ينتج عنه هدم الكلوروبلاست وبذلك ينخفض محتوى الكلورفيل وبذلك يظهر اصفرار في الأوراق القديمة الذي يدل على الأعراض الأولى لنقص تغذية النيتروجين.

5.2.7 أعراض نقص النيتروجين Nitrogen deficiency symptoms

التشخيص النظري لأعراض نقص العناصر يعتبر من الوسائل القيمة التي تفيد في التوصل إلى الحالة الغذائية لأي محصول. وعادةً يقوم بذلك بصورة ناجحة ذوي الخبرة في هذا

المجال، لأنها تحتاج فعلاً إلى خبرة عالية. إن الأعراض التي تظهر على النبات هي بالتأكيد ناتجة عن سلسلة الاضطرابات التي تحدث خلال عملية الأيض، وهناك أسباب مختلفة تؤدي إلى أعراض متشابهة جداً Similar Syndromes وهذه الحالة تنطبق على نقص النيتروجين، ليس من أهداف هذا الكتاب وصف أعراض نقص النيتروجين بالتفصيل للمحاصيل المختلفة. هناك دراسات مفيدة تعطي أوصافاً دقيقة ومزودة بصور توضيحية ملونة نشرها كل من: Bear et al. (1949), Bergmann and Neubert (1976), Wallace (1961) and Chapman (1966) للمحاصيل المختلفة. وكذلك التي نشرها Baule and Fricker (1970) لأشجار الغابات.

نقص النيتروجين يتصف بضعف معدل النمو، فالنباتات تبقى صغيرة والسيقان نحيفة المظهر والأوراق صغيرة، والقديمة منها تتساقط بكثرة أحياناً قبل اكتمال نموها. ونمو الجذور يتأثر بنقص النيتروجين وخاصةً تفرعاتها، ونسبة الجذور للمجموع الخضري تكون في تزايد مستمر مع نقص النيتروجين كما أشار Thomson and Weier (1962) بأن نقص النيتروجين ينتج عنه هدم الكلوربلاستيدات Chloroplasts. لذا فنقص النيتروجين في الأوراق يظهر اصفرار Chlorosis وهو عموماً منتظم التوزيع على الورقة بالكامل. أما موت الأوراق أو أجزاء منها Necrosis فإنه يحدث في مرحلة متأخرة وخاصةً عند حدوث نقص حاد في النيتروجين.

في هذه الناحية نقص النيتروجين يختلف أساساً عن نقص البوتاسيوم والماغنيسيوم حيث أن الأعراض تبدأ أيضاً في الأوراق القديمة لكن الاصفرار Chlorosis وبقع الموت

الموضعي Necrosis تظهر عند المراحل الأولى للنمو.

أعراض نقص الحديد والكالسيوم والكبريت مشابهة لأعراض نقص النيتروجين فهي تتميز باصفرار وشحوب الأوراق. في مثل هذا النقص تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة التكوين. هذه الملاحظات العامة يمكن أن يستفاد منها في التمييز بين صور النقص المختلفة في المغذيات. النباتات التي تعاني نقص في النيتروجين تنضج مبكراً وطور النمو الخضري يكون معظم الأحيان قصيراً. هذه الشيخوخة المبكرة ترجع إلى تأثير النيتروجين المضاف على تمثيل ونقل السيتوكينينات Cytokinins حسب بحث Wagner and Micheal (1971) بأن بناء السيتوكينينات يقل عندما تكون تغذية النيتروجين غير كافية. بما أن الهرمونات النباتية Phytohormones تشجع النمو بقوة وتحفظ النبات في طور يافع، فنقص السيتوكينيين قد يؤدي إلى الشيخوخة. تتميز محاصيل الحبوب التي تعاني نقصاً في النيتروجين بتفرع ضعيف (Poor tillering) وينخفض عدد السنابل في وحدة المساحة وأيضاً عدد الحبوب في السنبلة. حجم الحبة يقل ولكنها عالية نسبياً في محتواها من البروتين، وذلك لانخفاض معدل نقل الكربوهيدرات إلى الحبوب أثناء المراحل الأخيرة لامتلاء الحبة.

3.7 إضافة الأسمدة النيتروجينية وإنتاج المحاصيل

Nitrogen fertilizer application and crop production

1.3.7 مقدمة:

هناك أتفاق عام بأنه من بين كل العناصر الغذائية المضافة للترب تكون إضافة النيتروجين هي الأكثر أهمية حتى الآن في التأثير على زيادة الإنتاج للمحاصيل.

وهذه الحقيقة تنطبق على محاصيل مختلفة تنمو تحت ظروف بيئة متباينة في مناطق مختلفة من العالم. أجريت العديد من التجارب الحقلية على كثير من الترب وقد أوضحت أن النيتروجين من أهم العوامل المحددة لنمو النباتات.

2.3.7 الاستجابة لإضافة النيتروجين Response to nitrogen application

على الرغم من أن المحاصيل عادةً تستجيب للتسميد النيتروجيني، إلاَّ إن هذه الحالة ليست دائمة. فالاستجابة للنيتروجين تعتمد على ظروف التربة، ونوع المحصول ومغذيات النبات التي يتم إضافتها بشكل عام. بقدر ما تؤخذ الترب في الاعتبار تبقى الاستجابة للنيتروجين في العموم أضعف طالما أن محتوى التربة منه عالٍ (Wehrmann and Scharpf (1979)).

عندما لا تكون هناك استجابة للنيتروجين، فهذا يعني أن بقايا النيتروجين في التربة وكذلك معدل المتحرر منه بالتحلل بوساطة الكائنات الدقيقة الموجودة بالمادة العضوية للتربة تكون كافية لتفي بحاجات المحصول.

إن العلاقة بين الاستجابة لنيتروجين السماد والمادة العضوية للتربة أجريت عليها تجارب حقلية قام بها Mölle and Jessen (1968)، حيث وجدوا أن معاملة الترب الرملية تحت الظروف المناخية الرطبة في شمال الدنمرك وذلك بإضافة سماد نيتروجيني بمعدلات 90–135 كيلوجرام نيتروجين/هكتار لمحصول الشعير نتج عنه مردود جيد. وفي ترب البيتموس (Peat) الغنية بالنيتروجين العضوي وجد أن معدلات تقدر بحوالي 45 كيلوجرام نيتروجين/هكتار كانت كافية للحصول على إنتاج عالٍ.

إذا تم حرث العشب Grass Sward في التربة يمكن أن نتوقع انطلاق معدلات عالية من النيتروجين في التربة، وذلك ينطبق أيضاً على المحاصيل التي تلي زراعة المحاصيل البقولية في الدورات الزراعية.

في كلا المثالين فإن إضافة النيتروجين تكون غير ضرورية. زراعة الأراضي التي تقع في المنطقة الاستوائية المطيرة ينتج عنها انطلاق للنيتروجين في السنوات الأولى من زراعة المحاصيل، خلال هذه الفترة لا تستجيب التربة لإضافة النيتروجين ((Agble (1973). في السنوات التالية تزداد أهمية إضافة النيتروجين حيث أن النيتروجين العضوي للتربة ينفذ تدريجياً. سجلت حالة شاذة حدث فيها انطلاق عالٍ للنيتروجين في فلسطين المحتلة عندما أجرى صرف لمياه مستنقع، فلوحظ احتواء التربة على حوالي 20–80% مادة عضوية. إن تمعدن هذه المادة العضوية كان عالياً جداً، وإن كميات النيتروجين المتراكمة في صورة نترات وصلت إلى 500 كيلوجرام نيتروجين/هكتار في السنة وذلك في الطبقة السطحية للتربة.

من الواضح أنه تحت مثل هذه الظروف فإن المعاملة بالنيتروجين تعتبر غير ضرورية ((Giskin and Majdan (1969). معدلات نترتة عالية مماثلة تنتج عند انخفاض مستوى الماء Water table الترب البيتموس، هذا المثال نشره Van Diest (1977) على ترب بيتموس لمستنقعات منخفضة في هولندا. لزيادة سعة حفز المغذيات في هذه الترب العضوية تم خفض مستوى الماء من 25 إلى 75 سم تحت سطح التربة، هذا ينتج عنه معدلات معدنة للنيتروجين وصلت إلى 1000 كيلوجرام نيتروجين/هكتار نصف هذه الكمية يتم استهلاكها بوساطة الأعشاب، والنيتروجين الباقي يتم غسله أو يدخل في عملية الدنترة.

الترب العضوية تمثل فقط جزءاً صغيراً من ترب العالم الزراعية. لهذا السبب فالاستجابة للنيتروجين يمكن توقعها في معظم الترب بشرط أن تكون عوامل النمو الأخرى غير محدودة. والماء هو العامل ذو الأهمية الكبرى، فالاستجابة لإضافة النيتروجين تكون محدودة عندما يكون تيسر الماء محدوداً. لقد نوقشت هذه العلاقة في الجزء 4.2.5 (Shimshi (1969)). الجدول (10.7) من بيانات (Lenka and Dastane (1970 تشير إلى أن المستويات المثلى من الماء تؤدي إلى زيادة الاستجابة للنيتروجين في حقول الأرز. إن الاستجابة للنيتروجين تحت الظروف الجافة تعتمد بدرجة كبير على كمية الأمطار السنوية وعلى توزيعها وعلى توزيعها خلال الموسم ما لم يستخدم الري. وتعتمد الاستجابة للنيتروجين أيضاً على كيفية إمداد المحصول بالعناصر الغذائية الأخرى، وقد تم تأكيد هذه العلاقة من مجموعة من الباحثين. والجدول (11.7) يعطي مثالاً لتوضيح هذه العلاقة (Gartner (1969)). كانت الاستجابة للنيتروجين بدون إضافة الفوسفور والبوتاسيوم أقل منها عند إضافة كميات كافية من الفوسفور والبوتاسيوم. بالإضافة إلى هذه البيانات اتضح كذلك أن الاستجابة لإضافة الفوسفور والبوتاسيوم تكون أعلى مع إضافة كميات غزيرة من النيتروجين.

Table 7.10 Effect of land submergence on rice yield at two N application levels (Lenka and Dastane [1970])

Irrigation treatment	Paddy grain yield, tonnes/ha	
	60 kg N/ha	120 kg N/ha
Saturation to field capacity	2.93	3.95
Saturation to 5 cm land submergence	3.94	5.40
10 to 5 cm land submergence	3.94	5.26

Table 7.11 Effect of increasing nitrogen rates in relation to phosphate and potassium dressings on grass yield (GARTNER [1969])

Fertilizer treatment kg (N P K)/ha			Yield tonnes DM/ha
N	P	K	
112	–	–	5.54
112	25	–	5.60
112	–	88	5.54
112	25	88	6.12
224	–	–	7.51
224	50	–	7.12
224	–	176	8.24
224	50	176	8.80
448	–	–	8.65
448	100	–	9.13
448	–	352	11.35
448	100	352	12.35

كما ذكر في الفصل السادس بأن أصناف المحاصيل خاصةً ذات الإنتاجية العالية تستجيب لأسمدة النيتروجين. وهذا ينطبق أيضاً على محاصيل الحبوب والأرز وكذلك على المحاصيل الأخرى كالذرة والسرجوم Sorghum.

الشكل (6.7) يبين الاستجابة للنيتروجين لأصناف مختلفة من محصول السرجوم

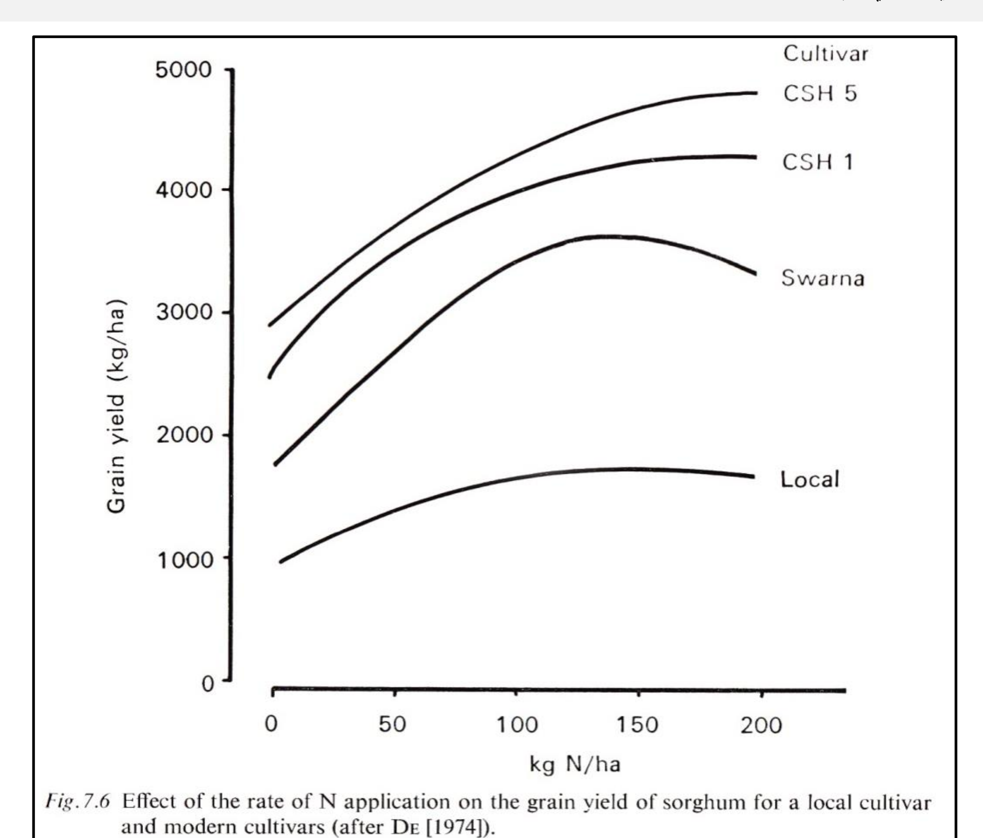


Fig. 7.6 Effect of the rate of N application on the grain yield of sorghum for a local cultivar and modern cultivars (after De [1974]).

3.3.7 معدلات إضافة أسمدة النيتروجين Nitrogen fertilizer application rates

إن مستوى النيتروجين الذي يجب إضافته للمحصول يعتمد على نوع المحصول وظروف التربة السائدة. والكمية التي يمتصها المحصول خلال فترة نموه يستفاد منها كمؤشر يساعد في تحديد المعدل الصحيح لإضافة النيتروجين (كيلوجرام/هـ). الجدول 6.2 يوضح هذه الكميات والمحاصيل متعددة. عندما يكون معدل تحرر النيتروجين غير العضوي من المادة العضوية للتربة عالياً، فإن معدلات النيتروجين اللازم إضافتها تكون منخفضة. من ناحية

أخرى يجب إضافة النيتروجين بمعدلات أعلى من الكمية الممتصة في حالة الترب الفقيرة والمنخفضة النيتروجين، إضافة التبن عموماً يزيد من تقييد حركة Immobilization نيتروجين السماد. ((Terman and Brown (1868). وهذا غالباً يؤدي إلى انخفاض إنتاجية المحاصيل ((Amberger Aigner (1969). وبالرغم من هذا التأثير يمكن التغلب عليه بوساطة استعمال كمية إضافية من النيتروجين.

لقد أوضح Schmidt and Unger (1968) في تجارب حقلية أنه يجب إضافة 1 كيلوجرام نيتروجين لكل 100 كيلوجرام تبن مضافة للتربة. في الترب التي تزرع بمحصول الأرز لم يوجد أي تأثير لخلط التبن مع التربة على إنتاجية الأرز ((Williams et al. (1972).

المعدلات المثالية لإضافة النيتروجين تعتمد على هطول الأمطار كما لوحظ في تجارب حقلية نفذت لعدد من السنوات في هولندا ((Van der Peauw (1962).

في السنوات ذات الشتاء المعتدل والأمطار الغزيرة يتم غسل كميات كبيرة من النيتروجين في التربة. وللمحافظة على مستويات الإنتاجية فيجب تعويض هذا الفاقد بإضافة كميات كافية من السماد النيتروجيني. على المدى البعيد فإن إزالة النيتروجين سواء أكانت المستغلة لإنتاج النبات أو بالغسيل أو الدنترة فيجب موازنتها بإضافة كمية كافية من السماد النيتروجيني.

إن كميات كبيرة جداً من النيتروجين يمكن أن تثبتها البكتيريا التكافلية مع النباتات البقولية مثل الريزوبيوم Rhizobium. لهذا فبقوليات العلف مثل الصفصفة أو البرسيم لا تعامل عادةً إضافة النيتروجين ((Doll (1962). في الحقيقة فإن إضافة النيتروجين قد تخفض

الإنتاج لأن سماد النيتروجين يوقف عملية التثبيت ويشجع نمو الأعشاب. في حالة الأعشاب المرافقة للبقوليات فإن إضافة النيتروجين تدعم نمو الأعشاب التي تصبح قادرة على منافسة البقوليات على المغذيات النباتية وعوامل النمو الأخرى. الحقول المختلطة بالبقوليات والأعشاب لا يجب أن تعامل بالنيتروجين إذا كانت نسبة البقوليات كافية لتغطية متطلبات الحقل من النيتروجين. أما إذا كانت نسبة البقوليات قليلة جداً فينصح بإضافة سماد نيتروجيني.

لقد وجد Dam Kofoed and Sondergaard Klausen (1969) في الدنمرك، أن إضافة النيتروجين بمعدلات من 150–300 كيلوجرام نيتروجين/هكتار سنوياً أعطى أفضل النتائج في أراضي الأعشاب التي تعرف بإنتاجها المنخفض أو المعدوم من البرسيم. عندما تنمو البقوليات في ظروف ملائمة فإن إنتاجية العلف يمكن أن تكون عالية دون إضافة أسمدة نيتروجينية. وهذا ينطبق على المراعي العشبية الشاسعة المساحات في نيوزيلندا (Walker et al. (1954)).

محاصيل البقوليات الحولية غالباً ما تستجيب للأسمدة النيتروجينة، ولذا فإن تسميد فول الصويا Soya beans بالنيتروجين أصبح شيئاً مألوفاً جداً، ويضاف عادةً وقت الزراعة للحصول على نمو سريع للنباتات الصغيرة. لقد وجد Albrittom (1972) في تجارب حقلية أن إضافة النيتروجين بمعدلات 112 كيلوجرام/هكتار تزيد من إنتاجية فول الصويا من 10 إلى 15%. لقد نصح Hulpoi et al. (1971) بإضافة النيتروجين بمعدل 60 كيلوجرام نيتروجين/هكتار لهذا المحصول المزروع بأراضي Chernosem Rumania.

الفول Vicia faba والعدس Lentil أيضاً يستجيبان لإضافة النيتروجين بمعدلات منخفضة (30 كيلوجرام نيتروجين/هكتار).

توصل إلى نفس النتائج كل من Hamissa (1974) and Scherer and Danzeisen (1980).

إن الإضافات المفرطة من النيتروجين قد تكون ضارة للمحاصيل، فكما ذكر سلفاً فإن المستويات المرتفعة من تغذية النيتروجين خلال الأشهر الأخيرة لنمو محصول بنجر السكر أدت إلى انخفاض جودة الجذور. أما بالنسبة لمحاصيل الحبوب فقد تؤدي إلى الرقاد Lodging. وللتقليل من حساسية النبات للرقاد تم أتباع طرق معروفة في أواسط أوروبا وذلك بإضافة مواد كيميائية تقلل من طول سيقان محاصيل الحبوب. (أنظر الباب 6.1.5).

الإفراط في استعمال النيتروجين قد يحفز أمراض المحاصيل الفطرية المختلفة (Troldenier (1969)). ومن بين هذه الأمراض الصدأ البني Brown rust (Puccinia hordei) على الشعير وتبقع الأوراق البني Brown leaf spot (<u>Helminthosporium</u> <u>oryzae</u>) على الأرز (Hak (1973)) والفيوزاريوم <u>Fusarium</u> <u>graminearum</u> على القمح (Bunescu et al. (1972)). المرض قد يكون قاسياً خاصةً إذا كانت مغذيات المحصول من البوتاسيوم والفوسفور منخفضة. من ناحية أخرى هناك مرضان يصيبان محصول الذرة وهما التبقع الشيكولاتي Chocolate spot (Pseudomonas syringae) ولفحة أوراق الذرة الشمالية Northern corn leaf blight (Helminthosporium turcicum) هذان المرضان يقلان

بإضافة معدلات عالية من النيتروجين. ((Karlen et al. (1973)).

4.3.7 أسمدة النيتروجين

إن معظم الأسمدة النيتروجينية المعروفة مدرجة في الجدول (12.7) وفي معظمها يكون حامل النيتروجين إما النترات أو الأمونيوم ، وينطبق ذلك على الأسمدة المخلوطة والمركبة.

إن غرويات التربة تدمص الأمونيوم جزئياً ومعدل امتصاصها عادةً يكون أقل من النترات تحت الظروف الحقلية، ولهذا السبب فمعظم المحاصيل لها تستجيب بنفس السرعة لأسمدة الأمونيوم كما تفعل لأسمدة النترات المعروفة بسرعة استجابة النباتات لها.

Table 7.12 Major nitrogen fertilizers

	Formula	% N
Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$	21
Ammonium chloride	NH_4Cl	26
Ammonium nitrate	NH_4NO_3	35
Nitrochalk	$NH_4NO_3 + CaCO_3$	21
Ammonium nitrate sulphate	$NH_4NO_3 \cdot (NH_4)_2SO_4$	26
Potassium nitrate	KNO_3	14
Urea	$CO(NH_2)_2$	46
Calcium cyanamide	$CaCN_2$	21
Anhydrous ammonia	NH_3	82

في معظم الحالات فإن الاختلاف بين نوعي الأسمدة النيتروجينية يلعب دوراً بسيطاً جداً.

لذا ففي تقييم لعدد من التجارب الحقلية التي أجريت بألمانيا Huppert and Buchner لاحظوا أنه لا توجد فروق في استجابة المحصول الإنتاجية سواء سمدت المحاصيل بالنترات أو الأمونيوم. فقط في الترب الأكثر حموضة كان تأثير النترات أفضل من الأمونيوم.

لقد بين Widdowson et al. (1967) أن نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ أعطت أعلى إنتاج لبذور الشعير من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)SO_4$ في ¾ التجارب التي أجريت على الترب الخفيفة أو المتوسطة البنية في بريطانيا. اختلافات الإنتاج لم تكن كبيرة. وإضافة الأمونيوم أو النترات تعتمد على ظروف التربة.

يتعرض الأمونيوم للتطاير أكثر في الترب ذات الرقم الهيدروجيني المرتفع، ولذا يوصى بإضافة أسمدة الأمونيوم في الترب القلوية. حسب Lehr and Van Wesemael (1961) فإن تطاير الأمونيا مرتبط أكثر بمحتوى التربة من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ أكثر من رقمها الهيدروجيني وهذه العلاقة مبينة في الشكل (7.7) من نتائج 176 عينة تربة جمعت من أنحاء العالم.

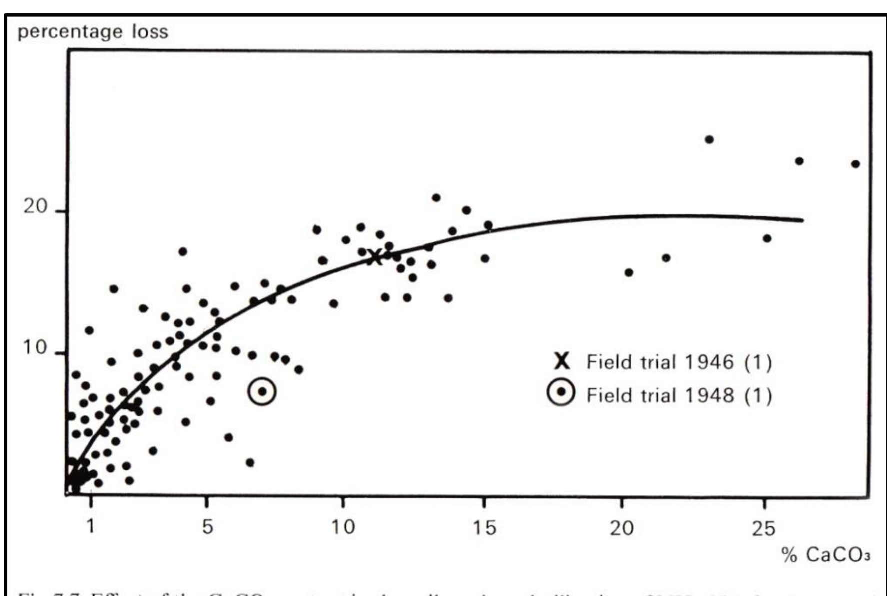


Fig. 7.7 Effect of the $CaCO_3$ content in the soil on the volatilization of NH_4–N (after Lehr and Van Wesemael [1961]).

إضافة اليوريا يقود أيضاً لفقدان الأمونيا بوساطة التطاير، حيث أن اليوريا تتحول بسرعة إلى أمونيا خاصةً في الترب القلوية. فقدان كبير بتطاير الأمونيا قد يحدث أيضاً بعد إضافة الأمونيا حتى على الترب الحامضية. سيكون الفقدان عالياً إذا أضيفت اليوريا على سطح التربة تحت سيطرة الظروف الجافة (Terman (1979 الذي تعامل مع التساؤل عند فقدان الأمونيا في بحوث مكثفة وقد توصل إلى أن اليوريا يجب أن تغطى بطبقة تربة عمقها 5 سم على الأقل.

عملية الدنترة يمكن أن تمثل فقداً للنيتروجين من التربة المضاف إليها سماد نيتروجيني. في الترب اللاهوائية (ظروف اختزال. جهدريدوكسي منخفض (Low redox potential) يكون الفقد في النيتروجين سهلاً بهذه الطريقة من أسمدة النترات. وهذه تخص ترب حقول الأرز ((Ponnamperuma (1978). في مثل هذه الحقول يوصى بإضافة أسمدة اليوريا أو الأمونيوم لأنها تلائم ظروف التربة لأن ظروف الأكسدة تحدث في الطبقة السطحية التي تسهل أكسدة الأمونيوم إلى نترات. (أنظر الشكل 12.7). إذا ما تم إنتاج النترات فإنها تغسل في الطبقات الاختزالية السفلى للتربة وتحدث لها عملية الدنترة وتفقد ((Toriyama (1973).

كانت كبريتات الأمونيوم من الأسمدة المهمة جداً لكن استعمالها تناقص أكثر فأكثر في السنوات الأخيرة ولقد استبدلت باليوريا إلى حد ما فهي تحوي نيتروجين أعلى ولسهولة نقلها في الحالة السائلة (أنظر 3.2.5). نترات الأمونيوم ملح قابل للانفجار ولهذا السبب فقد تم منع استخدامها في بعض الدول وبما أن سماد عال الجودة في النيتروجين فإنه

يستعمل الآن في كثير من الأحيان في تحضير الأسمدة السائلة. وبسبب مخاطر الحريق تخلط أحياناً نترات الأمونيوم مع الجير لتكن مخلوطاً آمناً وسهل التعامل معه، ويسمى نترات طباشيري Nitrochalk.

من المعروف جيداً أنه سماد نيتروجيني خالص، والذي يسبب احتوائه على الجير أنه يمنع أو يوفر تحميض التربة Soil acidification. كلوريد الأمونيوم سماد ثانوي الأهمية حسب Cooke (1972) فإنه يلائم ترب حقول الأرز لأن استخدام كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ يؤدي إلى إنتاج الكبريتيد غير المرغوب فيه. كبريتيات نترات الأمونيوم هو ملح ثنائي من نترات الأمونيوم وكبريتيات الأمونيوم صنع بمعادلة Neutralization حامض النيتريك والكبريتيك مع الأمونيا NH_3 والملح الناتج سهل النقل والتخزين، وقد أنخفض استخدامه في السنوات الأخيرة. نترات البوتاسيوم يحتوي على 44 % أكسيد البوتاسيوم K_2O بالإضافة إلى النيتروجين وهذا يستعمل كثيراً كسماد ورقي بالرش. نفس الوضع صحيح مع اليوريا التي تستعمل بدرجة كبيرة في الأسمدة السائلة (أنظر 3.2.6).

سيناميد الكالسيوم Calcium syanamide يحتوي على نيتروجين في صورة أميد Amide وسيانيد Cyanide هذا السماد لونه داكن ويحتوي على بعض الكربون الذي يتكون خلال عملية التصنيع. سيناميد الكالسيوم يذوب في الماء ويتحول في التربة إلى يوريا التي تنقسم مرة أخرى إلى أمونيا وثان أكسيد الكربون، كما هو موضح في المعادلات التالية:

$$CaN - C \equiv N + 2\,H_2O \rightarrow H_2N - C \equiv N + Ca\,(OH)_2$$

Ca cyanamide — Cyanamide

$$H_2N - C \equiv N + H_2O \rightarrow H_2N - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - NH_2$$

Urea

$$H_2N - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - NH_2 + 2\,H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3$$

$$(NH_4)_2CO_3 + 2\,H^+ \rightarrow 2\,NH_4^+ + CO_2 + H_2O$$

عملية التحول تحتاج إلى الماء. ولهذا السبب نجد أن استجابة النباتات لإضافة سيناميد الكالسيوم تتأخر في ظروف التربة الجافة. خلال عملية التحول في التربة يمكن أن تتكون مواد وسطية سامة وهي جيدة في مقاومة الأعشاب ومثبطة لعملية النترتة إذا ما أضيف سماد سيناميد الكالسيوم قبل البذور وتم خلطه بالتربة.

السيناميد يعد سماد نيتروجيني بطيء التفاعل. مركب ثنائي السياميد أميد Dicyandiamide يتكون خلال تحلل سيناميد الكالسيوم يعمل على إعاقة عملية إنتاج الأمونيوم من اليوريا Ammonification وأكسدة الأمونيوم. إن تأثير نيتروجين السماد يكون بالتالي متأخر ((Rathsack (1998).

خلال عملية التحول يتكون كذلك هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$، الذي له تأثير إيجابي على الرقم الهيدروجيني وعلى بناء التربة في الترب الحامضية.

إضافة الأمونيا اللا مائية قد نوقش سابقاً في الجزء 3.2.6 إن العائق الرئيسي

لاستخدام هذا السماد العالي المحتوى من النيتروجين هو الاحتياج إلى أجهزة خاصة لنقل والإضافة.

في عدد من التجارب الحقلية أتضح أن الأمونيا اللا مائية تعطي استجابة مماثلة لاستجابة أسمدة النيتروجين الصلبة ((Dam Kofed et al. (1967). في الترب ذات القوام الثقيل وتحت ظروف مناخية قارية يمكن إضافة الأمونيا اللا مائية في الخريف بدون المخاطرة بخسارة النيتروجين عن طريق الغسيل ((Korensky and Neubery (1968).

في مثل هذه الترب تحدث خسارة النيتروجين بالغسيل فقط عند تأكسد الأمونيوم إلى نترات بدرجة كبيرة. هذا التأكسد الذي تسببه الكائنات الدقيقة يعتمد كثيراً على درجات الحرارة السائدة في التربة في فصلي الخريف والشتاء. ولذلك تحت الظروف البيئية المعتدلة في الشتاء والغزيرة الأمطار فإن إضافة الأمونيا اللامائية أو أسمدة الأمونيوم الأخرى يمكن أن تؤدي إلى فقدان كبير في النيتروجين بسبب غسيل النترات (Dam Kofoed et al. (1967)). هذا الفقد في النيتروجين أثناء فصل الشتاء محتمل أن يكون السبب الرئيسي لانخفاض الإنتاج نتيجة إضافة الأمونيا اللامائية في فصل الخريف أكثر منه عند إضافتها في فصل الربيع التالي ((Roussel et al. (1966). في العقد الأخير (من 1972 إلى 1982م) تم تطوير أسمدة نيتروجينية بطيئة الانطلاق (Slow-release) بتقليل الفقد بالغسيل الذي ينتج من استخدام أسمدة أكثر ذوباناً ولتوفير مصدر دائم للنيتروجين الميسر.

أسمدة النيتروجين بطيئة الانطلاق الأكثر شيوعاً هي:

- يوريا بوليمرات الفورملدهيد Urea formaldehyde polymers

- ثنائي اليوريا أيزوبيوتلدين Isobutylidene diurea
- ثنائي اليوريا كروتونيليدين Crotonylidene diurea
- اليوريا المعلفة بالكبريت Sulphur coated Urea
- أو نترات الأمونيوم المغلفة بالكبريت Or sulphur coated NH_4NO_3

إن تيسر الصور المغلفة بالكبريت يعتمد أساساً على ظروف التربة الكيموفيزيائية Physico-chemical والتي تؤثر في الذوبان، بينما تيسر الفورملدهيد اليوريا وثنائي اليوريا أيزوبيوتيلدين يكون منظماً بوساطة نشاط الميكروبات الدقيقة في التربة.

إن ظروف التربة التي تعمل على تحفيز النشاط الحيوي الدقيق في التربة تعمل كذلك على دعم نمو المحصول. تحرر النيتروجين من الأسمدة عادةً تتبع احتياجات المحصول من النيتروجين.

في تحلل الأسمدة العضوية ذات النيتروجين البطيء التحرر تنطلق اليوريا بعملية التحلل المائي Hydrolysis (الشكل 8.7). هذا التحلل يكون بأنزيم NH_3 Urease وثاني أكسيد الكربون CO_2 تتأكسد الأمونيا بعد ذلك إلى نتريت NO^-_2 ونترات NO^-_3 بوساطة عملية النترتة Nitrification. (أنظر 4.1.7).

حسب ما ذكر Gadas and Kafkafi (1974) بأن درجات الحرارة تتحكم في معدل تحلل فورملدهيد بالأحياء الدقيقة، حيث وجدا أن ثوابت ذلك المعدل للعملية بالكامل كانت أعلى عدة أضعاف عند42م مقارنةً بالتحلل عند 14م. وتتأخر عملية التحلل عند درجات الحرارة المنخفضة (14م) خاصةً خلال الأسابيع الأولى بعد الإضافة.

Fig. 7.8 Decomposition reactions of a slow-release N fertilizer (isobutylidene diurea).

إن استعادة النيتروجين الذي يقاس عن طريق إيجاد نسبة النيتروجين الممتص بالمحصول إلى النيتروجين الكلي المضاف، يكون بشكل عام ضعيفاً للأسمدة بطيئة التحرر مقارنةً مع الأسمدة النيتروجينية التقليدية المذابة في الماء (Dam Kofoed and Larsen (1969) , Allen et al. (1971)).

فقد وجد Stāhlin (1967) في اختبار سماد ثنائي يوريا البيوتيليدين في أرض أعشاب، أن معدل إضافة نيتروجين قدرها 500 كيلوجرام/هـ لتوفير سماد لمدة سنتين أعطى إنتاجاً ضعيفاً في السنة الثانية. شكل (8.7) تفاعلات تحلل سماد نيتروجين بطيء الانطلاق (أيزوبيوتيليدين ثنائي اليوريا)

من بين سلبيات الأسمدة النيتروجينية بطيئة الانطلاق هو ارتفاع سعرها مقارنةً بالأسمدة العادية. هناك تقارير في بحوث عن تفضيل إضافة أسمدة النيتروجين بطيء التحرر،

كما جاء في تقرير Oertli 1980 (أنظر 3.1.6).

في الوقت الحاضر يمكن لأسمدة النيتروجين بطيء الانطلاق استخدامها في البستنة والمروج الخضراء، فيمكن إضافة معدل مرتفع في مرة واحدة بدون أضرار تقع على النباتات، بإضافة نفس المستوى من النيتروجين من المواد النيتروجينية المذابة في الماء ينتج عنه ضرر كبير على النباتات. الميزة الأساسية للأسمدة النيتروجينية بطيئة الانطلاق، أنها يمكن أن تضاف في دفعة واحدة.

قراءات عامة

General Reading

ALLISON, F.E.: Soil Organic Matter and its Role in Crop Production. Elsevier Sci. Publications, 1973.

BARTHOLOMEW, W. V. and CLARK, F. E.: Soil Nitrogen. American Soc. of Agronomy, Inc, Madison, Wisconsin, USA 1965.

BURESH, R.J., CASSELMAN, M.E. and PATRICK, W.H. jr.: Nitrogen fixation in flooded systems, a review. Adv. Agron. 33,150-192 (1980).

CLARK, F.E. and ROSSWALL, T. (Eds.): Terrestrial Nitrogen Cycles, Processes Ecosystem Strategies and Management Impacts, Ecol Bull. Stockholm 33, (1981).

DELWICHE, C. C. Ed.: Denitrification, Nitrification and Atmospheric Nitrous Oxide. Wiley, New York, London, Sydney, Toronto 1981.

GREENWOOD, E.A.N.: Nitrogen stress in plants. Adv. Agron. 28, 1-35 (1976).

HEWITT, E.J. and CUTTING, C.V. (Eds): Nitrogen Assimilation in Plants, Academic Press London, New York, San Francisco, 1979.

INTERNATIONAL ATOMIC EKERGY AGEKCY: Nitrogen-15 in Soil - Plant Studies, Vienna 1971.

KIRKBY, E. A.: Nitrogen Nutrition of the Plant. The University of Leeds Press, Leeds 1970 NEYRA, C.A. and DOBEREINER, J.: Nitrogen fixation in grasses. Adv. Agron. 29, 1-38 (1977).

NIELSEN, D.R. and MACDONALD, J.G.: Nitrogen in the Environment. Vol. I, Nitrogen Behaviour in Field Soil. Academic Press London, New York, San Francisco, 1978.

NIELSEN, D.R. and MACDONALD, J.G.: Nitrogen in the Environment. Vol. 2, Soil Plant Nitrogen Relationship. Academic Press London, New York, San Francisco, 1978.

PARSONS, J.W. and TINSLEY, J.: Nitrogenous Substances. In GIESEKING, J.E. (ed) Soil Components vol. I, Organic Components p. 263-304, Springer-Verlag, 1975.

SIMPSON, J.R. and FRENEY, J.R.: Fate of nitrogen under diflerent cropping systems. In: LEECE, D. R. (ed.) Fertilizers and the Environment, p. 27-33. Austalian Institute of Agricultural Science. Sydney, 1974.

WALKER, T.W.: The nitrogen cycle in grassland soils. J. Sci. I'd. Agric. 7, 66-72 (1956).

الفصل الثامن

الكبريت

1.8 كبريت التربة: Soil sulphur

يوجد الكبريت في التربة على أشكال عضوية وغير عضوية. إن الكبريت المرتبط عضوياً في معظم الترب يعتبر المخزن الرئيسي للكبريت (,Scott and Anderson (1976) Reisenauer et al.(1973)).

في ترب الخث Peat هذه الكمية يمكن أن تكون حوالي 100% من الكمية الكلية. يمكن أن يقسم كبريت التربة العضوي إلى جزئين؛ الكبريت المرتبط بالكربون والكبريت غير المرتبط بالكربون؛ الأخير يتكون من كبريتات فينول وكولين وأيضاً الدهون (Freney and Stevenson (1966)). يتضمن الكبريت المرتبط بالكربون كبريت الأحماض الأمينية رغم أنها تمثل أقل من نصف هذا الجزء ((Whitehead (1964)). إن نسبة الكربون: النيتروجين: الكبريت S:N:C في المادة العضوية في التربة هي حوالي 1.2:10:125 ((Ereney (1961)).

تتكون الصور غير العضوي للكبريت أساساً في التربة من الكبريتات SO_4^{-2}. قد تتراكم كميات كبيرة من الأملاح في مناطق الترب الجافة مثل كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ وكبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$ وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4.

توجد الكبريتات تحت الظروف الرطبة إما في محلول التربة أو مدمصه على غرويات التربة Soil Colloids وأن الكبريتات في محلول التربة تكون في توازن مع الصور الأخرى في الحالة الصلبة. لقد أوضح Reisenauer et al. (1973) العوامل التي تؤثر في حفظ الكبريتات في التربة بالتفصيل. إن معادن الطين لها أهمية خاصة في حفظ الكبريتات. يزداد إدمصاص الكبريتات كلما أنخفض الرقم الهيدروجيني للتربة ويكون أعلى في الكؤلونيت Kaolinite وهو

من معادن الطين 1:2.

لقد وجد Scott (1976) أن إدمصاص الكبريتات في ترب شمال شرق اسكوتلندا يبدو أنه يعتمد على الحديد النشط أكثر منه على الألمنيوم.

يوجد الكبريت غير العضوي في صور مختزلة مثل كبريتيد الحديد FeS والبيرايت FeS_2 وكبريتيد الهيدروجين H_2S. فإن محتوى الكبريت الكلي للتربة في المناطق المعتدلة تحت ظروف الغمر يكون حوالي 0.005–0.04% كبريت ((Simon-Sylvester (1969). تعتمد مستويات كبريت التربة الكلي على محتوى المادة العضوية وعلى الظروف المناخية أيضاً. تغسل كميات كبيرة من الكبريتات تحت الظروف الرطبة بينما تتراكم الكبريتات SO_4^{-2} تحت الظروف الجافة في الطبقة السطحية للتربة. محتوى الكبريتات في المناطق المعتدلة يكون عالياً إذا كان محتواها من المادة العضوية عالياً أيضاً. لذا فإن محتوى الكبريت لعدة أنواع من الترب يقل حسب الترتيب التالي: ترب الكلس العضوي > الخث > ترب المستنقعات> ترب البدزول الشهباء البنية اللون> البدزول.

Podzols < Grey brown podzolic soils < Marsh soils < Peat < Calcareous) organic soils). كما جاء في دراسة (1969) Grunwalott.

إن جزء الكبريت العضوي في التربة يكون ميسراً للنباتات مع نشاط الأحياء الدقيقة. يتكون كبريتيد الهيدروجين H_2S الذي يتأكسد ذاتياً Autoxidation إلى كبريتات SO_4^{-2} في عملية المعدنة تحت الظروف الهوائية. يتأكسد كبريتيد الهيدروجين إلى عنصر الكبريت S بفعل بكتيريا الكبريت كيميائية التغذية Chemotropic Sulfer bacteria

(Beggiatoa, Thiothrix) في الوسط اللاهوائي. تستطيع نفس البكتيريا أيضاً أكسدة الكبريت إلى حامض كبريتيك H_2SO_4 تحت الظروف الهوائي. يتأكسد عنصر الكبريت بوساطة البكتيريا الكيميائية التغذية من جنس ثايوباسلس Thiobacillus. يمكن أن يعبر عن العملية بصفة عامة في معادلات كيميائية كما يلي:

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S + 510\ KJ$$
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + 1180\ KJ$$
$$H_2S + 4O_2 \rightarrow 2H_2SO_4 + 1690\ KJ$$
الصافي 2

ينتج حامض الكبريتيك من أكسدة الكبريت مما يؤدي إلى ارتفاع حموضة التربة. تحدث نفس العملية أيضاً عندما يضاف الكبريت للتربة تنتج حموضة التربة Acidification. تستعمل هذه المعاملة أحياناً لخفض الرقم الهيدروجيني للترب القلوية. يمكن أن يتأكسد الحديد حيوياً وكيميائياً إلى عنصر الكبريت S بطريقة مماثلة للتفاعلات الموصوفة أعلاه ((Schoen and Rye (1971) حسب المعادلة:

$$FeS + H_2O + ½\ O_2 \rightarrow Fe(OH)_2 + S$$

كبريتيد الهيدروجين يعتبر من أهم النواتج للتحلل اللاهوائي للكبريت تحت ظروف التربة الاختزالية (الترب المغمورة وحقول الأرز). كذلك يتم تكوين الكبريتيدات العضوية مثل كبريتيد المثيل والبيوتيل Methyl and butyl sulphides وهي مشابهة لكبريتيد الهيدروجين والاثنان يتميزان برائحة كريهة. تؤكسد بكتيريا بكتيريا التمثيل الضوئي الخضراء والأرجوانية Photosynthetic green and purple bacteria كبريتيد الهيدروجين إلى كبريت بوساطة

استخدام الهيدروجين من H_2S في نقل الالكترونات في البناء الضوئي. قد يتراكم كبريتيد الهيدروجين إلى مستويات سامة عندما يعوَّق هذه العملية ويسبب ضرراً لنمو النبات. بإضافة أملاح الحديدوز FeS الطفيف الإذابة لتخفيف التأثير الضار لكبريتيد الهيدروجين لحدٍ ما (Connell and Patrick (1969)).

يتم اختزال الكبريتات بوساطة بكتيريا من جنس ديسلفوفيبريو Genus Desulfovibrio ((Ponnamperuma (1972)). تستعمل هذه البكتيريا الأكسجين من الكبريتات SO_4^{-2} كمستقبل إلكترون طرفي Terminal ē acceptor.

عمليات تحول الكبريت في التربة موضحة في شكل (1.8). ينتج كبريتيد الهيدروجين ويتحرر بعضه في الجو تحت ظروف الاختزال وبذلك يفقد من نظام التربة تغير الظروف الهوائية للتربة العمليات في صالح تكوين الكبريتات SO_4^{-2} والتي تكون متحركة في التربة ويفقد بعض منها بالغسيل. تمتص النباتات الكبريت في صور الكبريتيات من وسط التربة. يختزل جزء من الكبريتات في داخل النبات ويتحول إلى صور عضوية (أنظر 6.3.3). يدخل الكبريت العضوي الموجود في التربة من بقايا المواد النباتية الميتة في الدورة كما هو موضح في الشكل (1.8). لقد قدم Whitehead (1964) المرجع المفيد عن دورة الكبريت وعلاقتها بالتربة وتغذية النبات.

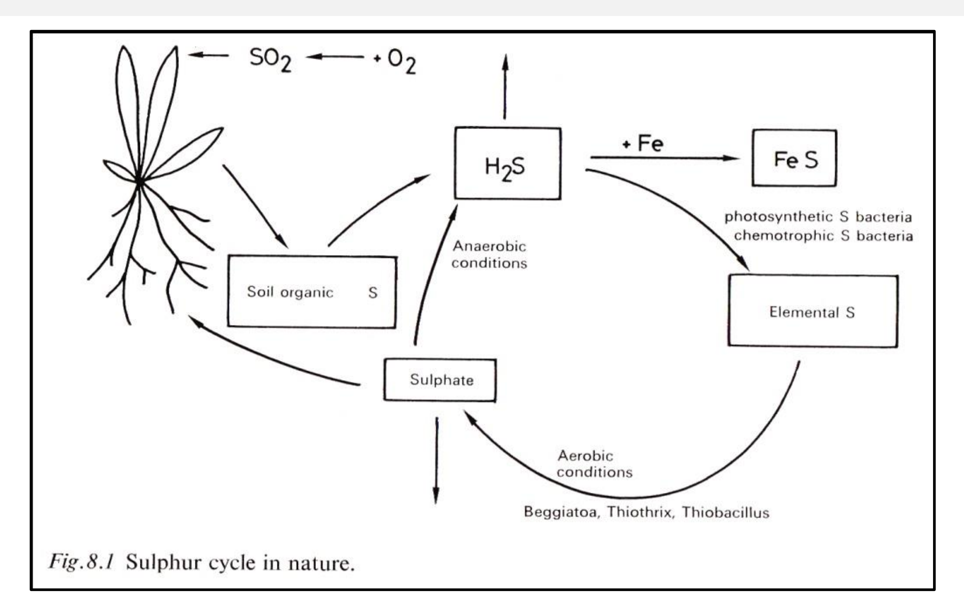


Fig.8.1 Sulphur cycle in nature.

2.8 الكبريت في الفسيولوجي: Sulfur in Physiology

1.2.8 الامتصاص والانتقال Uptake and translocation

تمتص النباتات الكبريت في صورة كبريتات SO^{-2}_4 بالدرجة الأولى عند مدى من الرقم الهيدروجيني التي تكون الجذور عنده معرضة له طبيعياً والامتصاص لا يكون حساساً جداً للرقم الهيدروجيني PH. لقد وجد Hemdrix (1967) أن أعلى معدل امتصاص لنباتات الفول Bean كان عند الرقم الهيدروجيني 6.5. نادراً ما تؤثر مغذيات النبات الأخرى في امتصاص الكبريتات بوساطة الخلايا النباتية. يقل امتصاص الكبريتات بدرجة كبيرة في حالة وجود مادة Selenate التي تشابه الكبريتات كيميائياً ((Leggett and Epstein(1956)

يدل على هذا أن الأيونان يتنافسان على موقع واحد لنفس الحامل. وميكانيكية الامتصاص الحقيقية للكبريتات ليست مفهومة بالكامل.

لقد أفترض Nissen (1971) أن هناك آلية واحدة للامتصاص فقط وتعتمد الاختيارية Selectivity بدرجة كبيرة على تركيز الكبريتات SO^{-2}_4 السائدة في المحلول المغذي. تحتاج هذه النقطة دراسات أخرى (أنظر 10.1.3). حسب بحوث Ansari and Bowling (1972) على عباد الشمس Sunflowers التي تمتص الكبريتات وتنتقل ضد الانحدار الكهروكيميائي Electrochemical مما يجعل الاقتراح بأن امتصاص الكبريتات SO^{-2}_4 يكون عملية نشطة Active process (أنظر 6.1.3).

تنتقل الكبريتات أساساً إلى أعلى (كالنمو من أسفل إلى أعلى Acropetal) وأن قدرة النباتات الراقية لنقل الكبريت إلى أسفل (Basipetal) تكون ضعيفة نسبياً. وجد Bouma (1967) في تجارب محاليل غذائية على البرسيم أن نتيجة انقطاع إضافة الكبريتات SO^- (ونقل النباتات إلى محاليل خالية من الكبريتات) فإن الكبريت قد أنتقل في الجذور والوريقات إلى الأوراق الحديثة التكوين ولم يساهم الكبريت في الأوراق الحديثة مع الكبريت المضاف في الأنسجة الحديثة مما يوضح أنه لا يوجد انتقال ضد تيار النتح.

هناك الآن أدلة كافية توضح أن النباتات يمكنها استعمال ثاني أكسيد الكبريت SO_2 الجوي كجزء من متطلبات الكبريت. لقد زرع Faller et al. (1970) أنواعاً مختلفة من النباتات في غرف النمو مع تراكيز معلومة لثاني أكسيد الكبريت SO_2 في الجو كمصدر للكبريت وحيد وقد وجد أن النمو انخفض في المعاملة التي غاب فيها ثاني أكسيد الكبريت. قد لاحظ كل من Cowling and Lockyer (1976) التأثير المفيد لثاني أكسيد الكبريت في تخفيف نقص الكبريت. عندما يمتص النبات ثاني أكسيد الكبريت خلال الثغور داخل

أجزاء النبات بكامله يستدل عليه في أجزاء الكبريت الموجودة في النبات مثل كبريت البروتين والحامض الأميني وكبريت الكبريتات ((De Cormis (1968). تأثير مستوى تغذية ثاني أكسيد الكبريت على نمو النبات مبينة في الجدول (1.8) عن طريق Faller (1968). يمكن أن يلاحظ التأثير الإيجابي على النمو في تأثيرات المستويات المنخفضة من ثاني أكسيد الكبريت لتزويد النباتات النامية في محاليل مغذية خالية من SO_4^{-2} . قد انخفض النمو عند التركيز الأعلى لثاني أكسيد الكبريت المجهز (1.5 مليجرام SO_2/م^3) ولوحظت أعراض موت موضعي Necrotic Symptoms على الأوراق لنباتات الذرة وعباد الشمس (أنظر 3.2.8).

Table 8.1 Effect of atmospheric SO_2 concentration on the growth of various plant species, grown in a sulphate free nutrient solution (data from FALLER [1968])

	SO_2 concentration, mg SO_2/m^3					Experimental period in days
	0.0.	0.2	0.5	1.0	1.50	
	yield in g DM/plant					
Sunflowers	70	103	103	113	100	15
Maize	100	110	118	111	107	13
Tobacco	31	41	43	54	46	9

2.2.8 وظائف الكبريت الأيضية : Metabolic functions of sulfur

يتحد الكبريت المختزل طبيعياً بسرعة مع الجزيئات العضوية والناتج الثابت من هذه العملية يكون السستئين Cysteine وقد شرح تمثيل (اختزال) الكبريتات في الجزء 6.3.3. يمكن أن تنتقل المجموعة SH (Sulphydryl or thiol) من السستئين إلى الفوسفوهوموسيرين Phosphhomoserine لتكوين Cystathionine الذي يتحلل لينتج

هوموسستئين Homocysteine وهذا المركب يمكن أن يتحول إلى ميثيونين Methionine بواسطة نقل مجموعة CH_3. حسب Wilson et al. (1978) قد تُنتج النباتات كبريتيد الهيدروجين H_2S من الكبريتات SO^{-2}_4 إذا أضيفت كميات كبيرة جداً من الكبريتات.

السستئين والمثيونين من أهم الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت في النبات حيث يوجدان كأحماض حرة كوحدات بنائية للبروتين. تكوين روابط الكبريتيد الثنائي Disulphide بين سلاسل الببتيدات المتعددة هو أحد الوظائف الرئيسة للكبريت في البروتين والببتيدات المتعددة Polypeptides تمثيل السستين ثنائي الببتيد Dipiptide cystine من جزئين سستئين Cysteine والذي يوضح رابطة الكبرتيتيد الثنائية Disulfide bond (رابطة S-S) من مجموعتين SH

COOH | H_2N-CH | CH_2-SH H$S-CH_2$ | H_2N-CH | COOH $\overset{2H}{\rightleftharpoons}$ COOH | H_2N-CH | CH_2-[S − S]$-CH_2$ | $CH-NH_2$ | COOH

S − S − bond

$2 \times \text{Cysteine} \rightarrow \text{Cystine} + 2H$

تكوين رابطة كبريتيد ثنائية بطريقة مشابهة يمكن أن تعمل كحلقة وصل تساهمية بين سلسلتين متعددة الببتيدات، أو بين نقطتين على سلسلة واحدة، لذا فإنها تثبت التركيب المتعدد الببتيدات (أنظر الشكل 2.8). تكوين روابط الكبريت الثنائية في الببتيدات المتعددة

والبروتينات هو وظيفة جوهرية للكبريت في الكيمياء الحيوية حيث أن جسور رابطة الكبريت–كبريت S-S تساهم في بنية بروتينات الأنزيمات. جودة الخبز تكون أيضاً ذات علاقة برابطة الكبريت الثنائية حيث أنها مسؤولة عن بلمرة الجلوتين Glutine، فكلما ارتفعت درجة بلمرة الجلوتين زادت جودة الخبز ((Ewart (1978). رغم أنه ليس كل المجاميع الحرة من SH في الأنزيمات نشطة والوظيفة الأساسية الأخرى لمجاميع SH في الأيض هي إشراكها المباشر في تفاعلات الأنزيم.

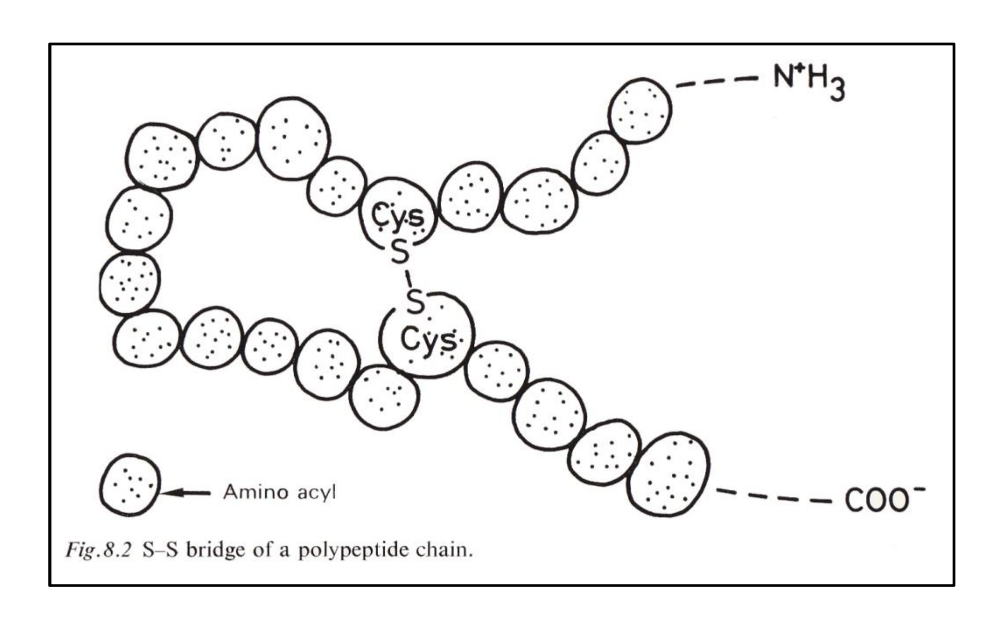


Fig.8.2 S–S bridge of a polypeptide chain.

نتيجة الأكسدة (تحرر الهيدروجين) لجزئين من السستئين Cysteine يتكون السستين Cystine كما وُضح في المعادلة السابقة. يعمل التفاعل كنظام الأكسدة والإختزال (ريدوكس Redox) والذي يأخذ أو يحرر ذرات الهيدروجين معتمداً على ظروف الأيض

السائدة.

يزاح التوازن ليسهل تكوين السستئين Cysteine تحت ظروف الاختزال (زيادة في الهيدروجين أو الأنزيمات المساعدة المختزلة المعروفة بالأنزيمات الرافدة Reduced Coenzymes) بينما يتكون السستين Cystine تحت الظروف المؤكسدة. لذا فوظائف النظام إما تعطي هيدروجين أو تستقبل هيدروجين H-donor or H-acceptor النظام الريدوكسي للجلوتاثيون Glutathione redoxsystem يكون مشابهاً لنظام السستئين Cysteine. يكوّن الجلوتابتيد ثلاثي Tripeptide يتركب من جلوتاميل Glutamyle (بقايا حامض جلوتمك Glutamic) وسستينل Cysteinyl وأجزاء جليسين Glycine moieties (أنظر التركيب في هذا الجزء). المجموعة الفعالة للنظام في مجموعة SH لجزء السستئنيل Cysteinyl التي تبني جسر S-S مع مجموعة SHلجزيئ جلوتامين آخر. يلعب نظام الريدوكسي للجوتاثيون دوراً أكثر أهمية في الأيض من نظام الريدوكسي للسستين Cystien بسبب أن الجلوتامين عالي الذوبان في الماء.

يعمل الجلوتاثيون المختزل كسلفيدريل منظم Buffer ليحفظ بقايا السستئين للبروتين في الصورة المختزلة. يمكن أن تختزل الصورة المؤكسدة لجلوتاثيون بواسطة NADPH (أنظر الصفحة التالية). تشترك المجموعة SH للحامض الدهني ليبويك Lipoic أيضاً في تفاعلات الريدوكسي بطريقة مشابهة (أنظر الصيغة).

يكوّن حامض الليبويك الانزيم المساعد الذي يشترك في عملية الديكربوكسيل Dacarboxylation المؤكسدة لأحماض ألفاكيتو α - Keto

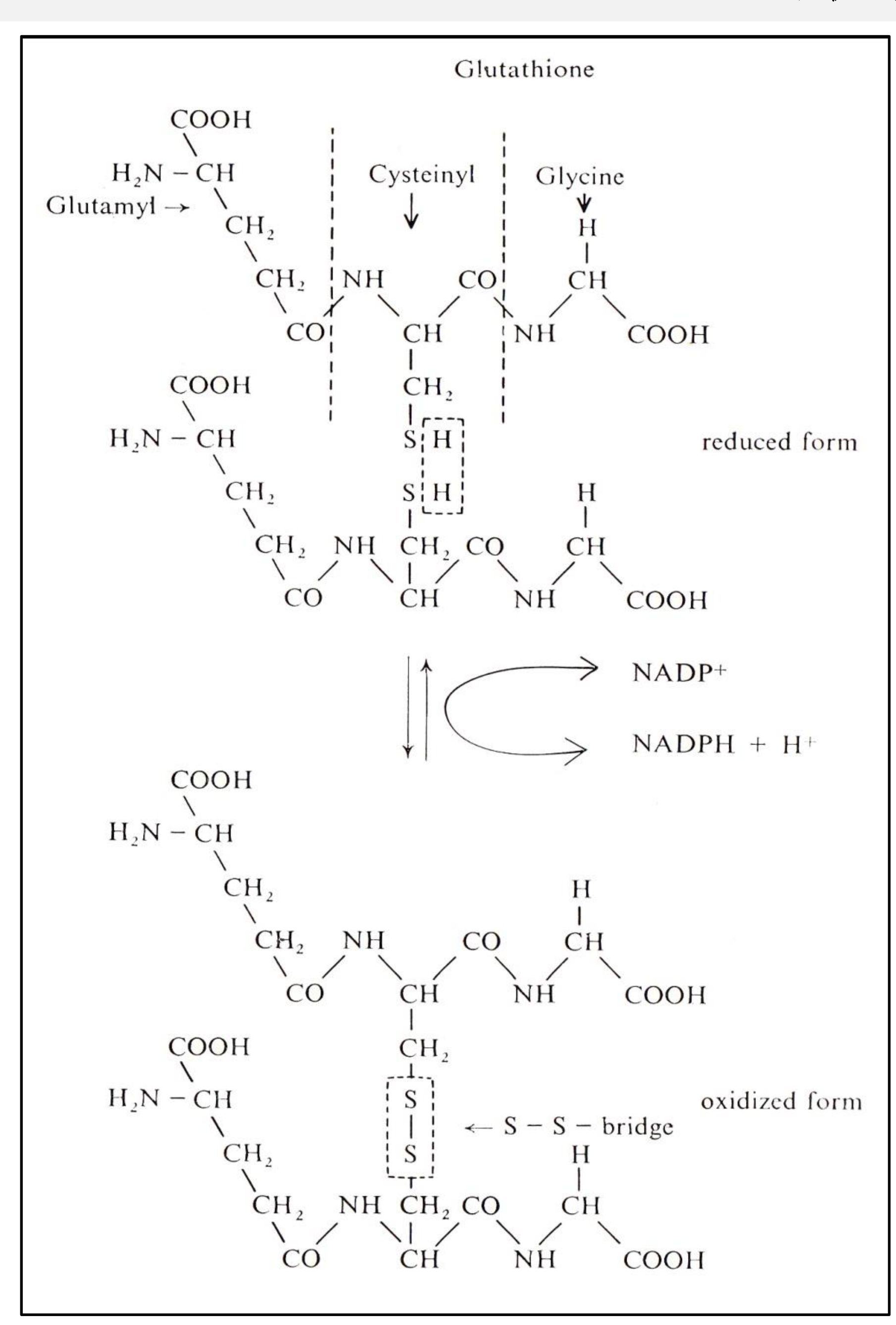
Lipoic acid

$$\begin{array}{l} \text{H}\;|\;\text{S}-\text{CH}_2 \\ \quad\quad\quad\quad \backslash \\ \quad\quad\quad\quad\; \text{CH}_2 \quad\quad\quad\quad\quad \text{reduced form} \\ \quad\quad\quad\quad / \\ \text{H}\;|\;\text{S}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$$

FAD → $FADH_2$

$$\begin{array}{l} \text{S}-\text{CH}_2 \\ |\quad\quad \backslash \\ |\quad\quad\; \text{CH}_2 \quad\quad\quad\quad\quad \text{oxidized form} \\ |\quad\quad / \\ \text{S}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$$

المجموعة الهامة في المركبات المحتوية على الكبريت هي الفيريدوكسينات Ferredoxins (نوع من بروتين كبريت حديدي غير هيمي). تحتوي هذه البروتينات المنخفضة الوزن الجزيئي على نسبة عالية من وحدات السستئين وعدد مساوي من ذرات الكبريت والحديد بالإضافة إلى الكبريت الموجود في السستئين والمثيونين في سلسلة البروتين. حتى الآن لم يُعرف بالتفصيل ترتيب حيز ذرات الكبريت والحديد. لذا فإنه يزهر أن ذرات الكبريت والحديد مرتبطة مع بعض وأن هذا الإتحاد يكون الربط لسلسلة البروتين بوساطة ذرات الكبريت في السستئين (أنظر الشكل 15.3). هذا الترتيب يعطي جهد ريدوكسي سالب عالي وهو أعلى جهد سالب معروف لمركب حيوي. الصورة المؤكسدة تختزل باستقبال الكترون مقذوف من الكلورفيل Chlorophyll في تفاعلات الضوء في عملية التمثيل


Glutathione
COOH
$H_2N - CH$
Glutamyl →
Cysteinyl
Glycine
CH_2
H
CH
CH_2
NH
CO
CO
CH
NH
COOH
CH_2
S H
S H
reduced form
$NADP^+$
$NADPH + H^+$
oxidized form
← S – S – bridge

الضوئي. الصورة المختزل ربما تكون المصدر الأساسي للقوة المختزلة لاختزال ثاني أكسيد الكربون CO_2 في تفاعلات الظلام لعملية التمثيل الضوئي (أنظر 4.2.3) وأنه يعمل مصدر الكترونات في اختزال الكبريتات (6.3.3) واختزال النيتروجين N_2 (2.3.3) وتمثيل الجلوتامين (4.3.3).

الكبريت هو أحد مكونات المرافق الانزيمي CoA وفيتامينات البيوتين Biotin والثيامين Thiamine.

البيوتن يكون مشتركاً في عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون وتفاعلات الديكسربوكسيل Decarboxylation وهي عملية نزع مجموعة الكروبكسيل COOH رغم ظهوره بأنه مجموعة إضافة لانزيمات تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 (Robinson (1973)).

```
          O
          ||
          C
        /   \
    HN        NH                 Biotin
    |         |
    HC   —    CH
    |         |
   H2C        CH − CH2 − CH2 − CH2 − CH2 − COOH
      \      /
         S
```

يعتبر الكبريت عنصر أساسياً في حلقة الثيازول Thiazole التي هي إحدى مكونات فيتامين الثيامين الذي قد يوجد كفيتامين أو بيروفوسفات ثيامين Thiamine

Pyrophosphate. تحتوي النباتات على كميات كبيرة من الثيامين في صورة فيتامين حر على عكس خلايا الحيوان ((Robinson (1973). ونعرف القليل عن دور الثيامين في النباتات. يعمل البيورفوسوفات الثاميني كأمزيم مساعد Coenzyme في عملية تحويل Decurboxylation of pyruvate إلى Acetaldehyde وأكسدة أحماض α-Keto acids ((Lehninger (1975). الأساس لهذه التفاعلات يكون في المقدرة الحلقات الثيازول في بيروفوسفات الثيامين للربط وتنشيط مجموعات الألدهايد.

Thiamine pyrophosphate

Thiamine (Vitamin B_1)

Coenzyme A
(Co A—SH)

في الأنزيم المساعد A (CoA) الموقع النشط للجزيء الذي هو مجموعة SH التي يمكنها التفاعل مع الأحماض العضوية حسب المعادلة.

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\boxed{OH\quad H}S-CoA \rightarrow R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}O\sim S\cdot CoA + H_2O$$

بهذه الطريقة تصبح مجموعة SH مؤسترة Esterified مع مجموعة الأسيل Acyl للأحماض العضوية وبذلك يعمل الأنزيم المرافق A لمجموعات الأسيل.

$$CH_3 - \overset{O}{\overset{//}{C}} \sim S - CoA$$

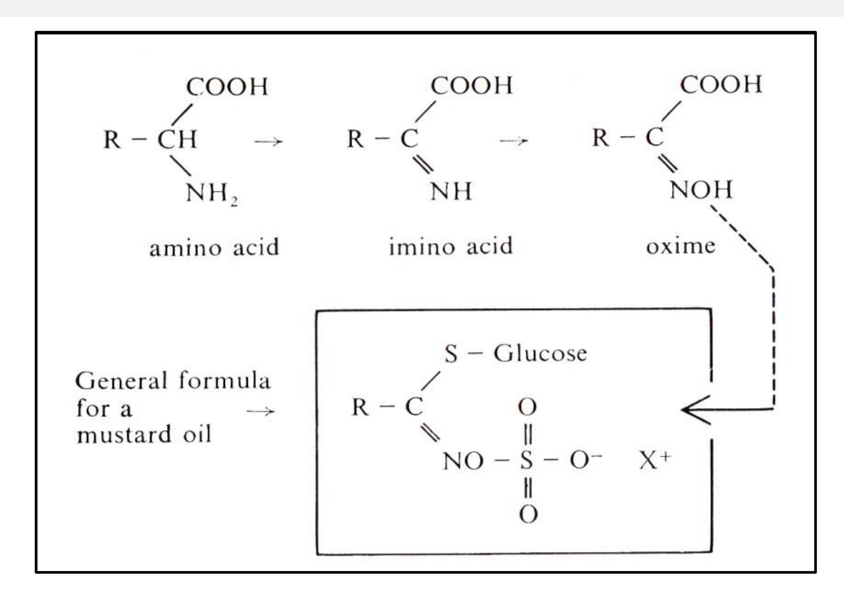
Acetyl CoA

يتكون Acetyle CoA عندما يتفاعل الأنزيم المساعد CoA مع حامض الخليك.

هذا مثال مهم عن الحامض المنشط من هذا النوع ويلعب دوراً هاماً جداً في أيض الدهون والأحماض الدهنية.

تحتوي أنواع كثيرة من النباتات على كميات قليلة من مركبات الكبريت المتطاير وفي بعض النباتات قد يكون هذا مهم Sulphoxides ($(R - \overset{O}{\overset{||}{S}} - R)$) المسؤول عن عامل التدميع Lachrymatory في البصل والرائحة Odour في الثوم.

توجد زيوت الخردل Mustard Oils أساساً في العائلة الصليبية Cruciferae ولها أهمية خاصة في الزراعة وطبقاً لما أورده Fowden (1967) فإن الأحماض الأمينية مثل Glutamate و Aspartate و Alanine و Serine تكون المواد التمهيدية لزيوت الخردل. التمثيل الرئيسي لتكوين هذه الزيوت كالآتي:



يبين التركيب العام لزيت الخردل أعلاه أن الكبريت يوجد في صورتين مختلفتين، في الأولى يوجد ككبريتات وأيضاً على شكل ذرة كبريت تربط جزء الجلوكوز مع بقية الجزيء (رابطة جلوكوز كبريتية S-gluocosidic bond). الكاتيون ينتج عند التحلل المائي للجلوكوسينوليتات glucosinolayes ايزوثابوسينات Isothiocyanates (R-N = C = S) وجلوكوز وكبريتات. في التراكيب المتباينة لزيوت الخردل المختلفة نجد:

$CH_2 = CH - CH_2 -$	Sinigrin *(Brassica nigra)*
$CH_2 -$	Glucotropaeolin *(Tropaeolum majus)*
$CH_2 - CH_2 -$	Gluconasturtiin *(Nasturtium officinale)*
$CH(OH) - CH_2 -$	Glucobarbarin *(Reseda luteola)*
$OH - \; CH_2 -$	Glucosinalbin *(Sinapis alba)*

يوجد Glucosinolates في بعض أنواع النباتات مكتوبة داخل أقواس. يوجد محتوى عالي من الكبريت عموماً في العائلة الصليبية Cruiferae والذي يُعزى إلى هذه المركبات بدرجة كبيرة.

المحتوى الكلي للكبريت في أنسجة النبات حوالي 0.2 إلى 0.5 % كبريت في المادة الجافة. لقد بين Ulrich et al. (1967) بدراسة امتصاص الكبريت من المحلول المغذي بوساطة قياس محتوى البرسيم (Medicago sativa) ووجد أن مدى تزويد الكبريت غير الكافي وارتفاع التزويد بالكبريتات زاد محتوى الكبريت العضوي بدون زيادة محتوى الكبريتات. يرتفع مستوى الكبريتات عندما يسد النبات حاجته من الكبريت في حين يبقى محتوى الكبريت العضوي ثابتاً نسبياً؛ هذه العلاقة موضحة في الشكل (3.8) من بيانات Deloch (1960) عن عباد الشمس. تبين هذه النتائج أن امتصاص الكبريت بإفراط عن احتياجات

النبات يصنع منه مركبات كبريت عضوية تكون مخزنة ككبريتات SO_4-S. هناك أنواع من النباتات قادرة على تمثيل زيوت الخردل والكبريت العضوي من الكبريتات وتكون أساساً في صور مخزنة. حسب Marquard et al. (1968) يعتمد محتوى هذه النباتات من زيت الخردل بدرجة كبيرة على التزويد بالكبريت. النباتات المزودة جيداً بالكبريت. النباتات المزودة جيداً بالكبريت تكون عالية في زيت الخردل. تحفز زيادة إضافة الكبريت زيادة تركيز زيت الخردل حتى بعد أقصى نمو لهذه النباتات. تتحلل البروتينات مائياً Hydrolyzed (Proteolysis) خلال فترة الشيخوخة وينطلق كبريت الأحماض الأمينية ليتأكسد إلى كبريتات SO^{-2}_4 ((Mothes (1939)). يختلف الكبريت العضوي أساساً على هذا النمط عن النيتروجين العضوي الذي لا يمكن أن يتأكسد إلى نترات NO^{-}_3 في الأنسجة النباتية.

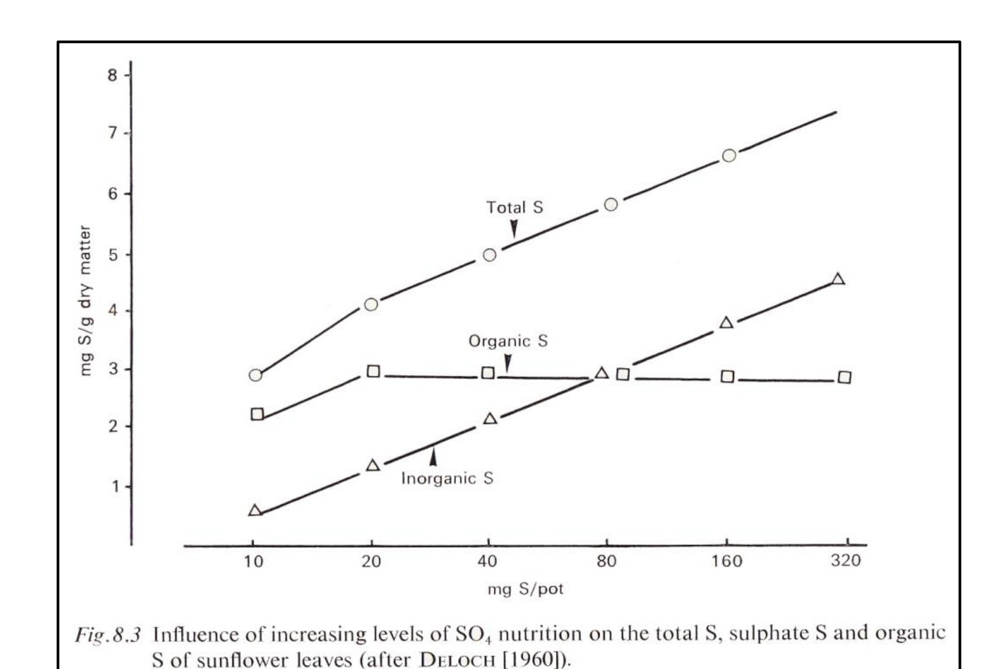


Fig. 8.3 Influence of increasing levels of SO_4 nutrition on the total S, sulphate S and organic S of sunflower leaves (after DELOCH [1960]).

يتكون حجم الكبريت العضوي من كبريت البروتين في صور بقايا السستئيل Cysteiyl وميثيونيل Methionyl في بعض أنواع النباتات باستثناء المحتوية على جلوكوسيدات الكبريت S-glycosides. لقد تم تحديد تركيب البروتينات باستخدام نسبة النيتروجين إلى الكبريت $^N/_S$ وهي تختلف قليلاً وتكون حوالي 30/1 إلى 40/1 (Dijkshoorn and Van Wijk (1967)). لقد ذكر Rendig et al. (1976) أن النسب $^N/_S$ متشابهة لحد كبير في بروتين نباتات الذرة الحديثة النمو. نسب $^N/_S$ تكون أقل في بروتينات الكلوروفي والبروتينات المرتبطة مع الأحماض النووية كما أن هذه البروتينات تكون غنية بالكبريت من حيث المقارنة (أنظر الجدول (2.8)).

Table 8.2 N/S ratio of various plant proteins (data from DIJKSHOORN and VAN WIJK [1967])

Protein	N/S ratio
Gliadin (grains)	33/1
Albumin (grains)	28/1
Globulin (grains)	67/1
Chloroplast proteins	15/1
Nucleoproteins	18/1

3.2.8 نقص وسُمِّية الكبريت: Sulphur deficiency and toxicity

نقص الكبريت نتائجه منع تمثيل البروتينات لأن في حالة نقص الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت (السستئين والسستين والمثيونين) والتي تكون وحدة البناء الضرورية فلا يمكن تكوين البروتينات. تتجمع الأحماض الأمينية غير الحاوية على الكبريت في أنسجة

النباتات لهذا السبب تعاني من نقصه ((Linser et al. (1964).

حيث لوحظ تراكم أحماض Arginine , Glutamine , Asparagine بصفة رئيسية (Coleman (1957)).

تتفق هذه النتائج مع نتائج (Eppendorfer (1968 الذي وجد تراكم الأميدات Amides في الجزء الأميني الذائب في تفرعات وبراعم الشعير التي تعاني من تزويد الكبريت غير الكافي. طبقاً لما وجده (Rendig et al, (1976 يرتبط تراكم أميد النيتروجين Amide N في نباتات الذرة التي تعاني نقصاً في الكبريت مع وجود مستويات منخفضة للسكريات. هذا الانخفاض في مكونات السكر ناتج من ضعف نشاط التمثيل الضوئي في النباتات التي تعامي من نقص الكبريت. من المناقشة أعلاه ليس مستغرباً أن ينخفض البروتين في النباتات التي تعامي من نقص الكبريت وهذا ليس فقط للمواد الناتجة من المحاصيل الخضراء بل أيضاً لمحاصيل الحبوب. لقد وجد (Eppendorfer (1968 و (Coic et al. (1963 أن حبوب القمح والشعير التي تعاني من نقص الكبريت تحتوي على ميثيونين وسستئين أقل مما وجد في حبوب المحاصيل المزودة جيداً بالكبريت.

تكون نسبة النيتروجين العضوي إلى الكبريت العضوي عالية جداً في أنسجة النباتات التي تعاني من نقص الكبريت (70/1 إلى 80/1)، إذا ما قورنت مع أنسجة النباتات الطبيعية بدون نقص. يمكن أن تستخدم هذه النسبة كمؤشر يدل فيما إذا كان النبات مزوداً بكمية كافية من الكبريت أم لا. تراكم النترات هو الصفة الأخرى للأنسجة التي تعاني من نقص الكبريت.

تأثير نقص الكبريت على نيتروجين الكربوهيدرات ومركبات الكبريت في النبات ملخص في نتائج Ergle and Eaton (1951) المبينة في الجدول (3.8).

Table 8.3 The effect of sulphate concentration in the nutrient medium on the percentage dry weight of carbohydrates, nitrogen and sulphur compounds in the leaves of cotton (ERGLE and EATON [1951])

SO_4 in nutrient (ppm)	Fresh weight Plants (grams)	Sulphate S %	Organic S %	Total Sugar %	Nitrate N %	Soluble organic N %	Protein N %
0.1	13	0.003	0.11	0.0	1.39	2.23	0.96
1.0	50	0.003	0.12	0.0	1.37	2.21	1.28
10	237	0.009	0.17	1.5	0.06	1.19	2.56
50	350	0.10	0.26	3.1	0.00	0.51	3.25
200	345	0.36	0.25	3.4	0.10	0.45	3.20

يكون نقص الكبريت والنيتروجين أحياناً في المحاصيل الحقلية من الصعب التمييز بينهما، وفي هذه الحالة يكون تحليل الأوراق ذا أهمية في النباتات التي تعاني نقصاً في الكبريت، وبذلك تنخفض مستويات الكبريتات SO_4-S جداً في حين تتراكم النترات NO_3-N والنيتروجين الأميني. هذا اختلاف واضح مع ما يحدث في حالة نقص النيتروجين حيث تقل مستويات النيتروجين المذاب وتكون مستويات الكبريت طبيعية.

ينخفض معدل النمو في النباتات التي تعاني من نقص الكبريت، وعموماً يتأثر نمو الأغصان أكثر من نمو الجذور كثيراً ما تكون النباتات صلبة Rigid وقابلة للكسر وتبقى السيقان ضعيفة. يكون تمدد الورقة محدداً وتكون الأوراق مقلصة كثيراً في نباتات العائلة الصليبية Cruciferae. يتأثر تكوين البلاستيدات الخضراء Chloroplasts وحسب Kylin

(1953) فإن تحلل البلاستيدات قد يحدث في الحالات الحادة أو الشديدة. تظهر أعراض نقص الكبريت والاصفرار على الأوراق الحديثة أولاً على عكس أعراض نقص النيتروجين ((Maynard (1979)). يبين هذا أن أنسجة النبات القديمة لا يمكن أن تساهم جوهرياً بتزويد الأوراق الحديثة بالكبريت والتي تعتمد أساساً على امتصاص الكبريت بوساطة الجذور. لقد وصف Ulrich et al. (1967) أعراض نقص الكبريت في البرسيم كما يلي:

تظهر أعراض نقص الكبريت على قمة النبات أولاً. تتغير الأوراق من اللون الأخضر إلى الأصفر الفاتح يتبعه اصفرار داكن بعدها يصبح الأوراق كلها صفراء. يلاحظ التطور في الشحوب اليخضوري الاصفرار. لنقص الكبريت في البرسيم ويحدث لأنواع من النباتات. في نباتات لوليم متعددة الأزهار lolium multiflorum Chlorosis حدث قصر للمسافات بين العقد على السيقان بسبب نقص الكبريت ((Ulrich and Hilton (1968)).

تكون النباتات غير حساسة نسبياً لتراكيز الكبريتات العالية في الوسط الغذائي. في حالات تكون تراكيز الكبريتات بمعدل 50 مليمول فقط ومثال ذلك في بعض الترب الملحية حيث يتأثر نمو النبات سلباً بشدة. تأثير النباتات بالأملاح هو نموذج بملاحظة الأعراض مثل نقص معدل النمو واللون الأخضر الداكن للأوراق وزيادة الكبريت ليست السبب (أنظر 2.6.4). توفير كبريتات وكلوريدات بتراكيز أزموزية متساوية Iso/osmotic concentrations عندها سيكون تركيز الكبريتات SO^{-2}_4 أكثر ضرراً من ملوحة الكلور Cl^- ((Meiri et al. (1971) , Henckel and Solovgov (1968)).

يلاحظ التركيز الحرج لثاني أكسيد الكبريت SO_2 في الهواء والذي أعلى منه تظهر

أعراض التأثيرات السامة على النباتات وهو عند مدى 0.5 – 0.7 مليجرام SO_2 - S في المتر المكعب. تنتج أعراض تنكرز (الموت الموضعي) Necrosis الأوراق عند التراكيز العالية لثاني أكسيد الكبريت. في العموم يكون تركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء حوالي 0.1 – 0.2 مليجرام/م^3. تكون التراكيز عدة أضعاف المستويات الطبيعية والتي سجلت في المناطق الصناعية. لقد بين Silvius et al. (1975) أسباب سمية ثاني أكسيد الكبريت حيث تمتصه الأوراق عند إذابته على السطح الرطب لخلايا الميزوفيل Mesophyll cells في فجوات الثغور (أنظر الشكل 6.4).

يزيد تحلل الحامض الكبريتي في أيونات الهيدروجين H^+ والبيلفونيت HSO^-_3 والسلفايت SO^{-2}_3. تتكون أيونات الكبريتات بوساطة تفاعل الشق الحر للسلسة الكيميائية ويتم بناءه أو تمثيله (أنظر 6.3.3). مما وجده Silvius et al. (1975) يظهر أن السبب الرئيسي لتأثير سمية ثاني أكسيد الكبريت هو التعرض لمستويات عالية منه ويتراكم غاز ثاني أكسيد الكبريت وأثيونات الكبريت (SO^{-2}_3 , HSO^-_3) وتُفصل بعملية الفسفرة الضوئية Photophosphorylation (أنظر 3.2.3). تتضمن التأثيرات الضارة الأخرى تمزق أغشية البلاستيدات الخضراء Chloroplast والتي قد تنتج كذلك من معاملة ثاني أكسيد الكبريت ((Willburn et al. (1972)، ((Puckett et al. (1973)). أدت المستويات العالية لثاني أكسيد الكبريت في الهواء في المناطق الصناعية إلى إبادة أنواع الأشنات Lichen.

3.8 الكبريت في تغذية المحاصيل Sulphur in crop nutrition:

1.3.8 توازن الكبريت Sulphur balance

على الرغم من أن محتوى الكبريت في نباتات المحاصيل يكون مقارباً لمحتوى الفوسفور لكن إضافة الكبريت لا تلعب دوراً مثل ذلك الدور المهم الذي يلعبه سماد الفسفور. يرجع هذا إلى الحقيقة بأن الكبريتات لا تكون مرتبطة بقوة (مثبتة) بحبيبات التربة مثل الفوسفات لذا سيكون أكثر تيسراً لجذور النبات. هذا بالإضافة لتلك الكميات الأساسية الممتصة بالمحاصيل والتي هي في الأصل من الهواء الجوي أو من الأسمدة التي تحتوي كبريتاً بجانب المغذيات الرئيسة المضافة مثل كبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم. تعتمد كميات الكبريت التي منشأها الهواء الجوي على المسافة من البحر والأمطار وعلى انبعاث ثاني أكسيد الكبريت في الدخان لذلك فالجو المحيط بالمناطق الصناعية عامةً يحتوي على كميات عالية من ثاني أكسيد الكبريت SO_2.

يذوب بعض من ثاني أكسيد الكبريت الجوي في قطرات المطر وفي هذه الصورة يخترق التربة حيث يتأكسد إلى كبريتات SO^{-2}_4 هذه العملية قد تساهم في تحمض التربة Acidification لحد ملحوظ. تقل كميات الكبريت الجوي التي تزود التربة كلما زادت المسافة عن البحر (6.1.6). لهذا السبب فالترب في المناطق البحرية تكون أيضاً مزودة جيداً بالكبريت. لقد بين Dam Kofoed and Fogh (1968) أن الأمطار في الدنمارك تمد التربة بالكبريت بمعدل 8 – 15 كيلوجرام/هـ/السنة.

تمتص المحاصيل نفس الكمية من الكبريت في صورة SO_2 على الأقل تحت الظروف

التي تكون فيها تركيزات ثاني أكسيد الكبريت عالية في الهواء الجوي (Riehm and Quellmalz (1959)). تكون هذه الكميات أكثر من ضعف الكمية التي تحتاجها معظم المحاصيل (أنظر 2.6). تدل هذه الأرقام على إسهامات الجو من الكبريت للترب في المناطق البحرية والصناعية.

من جانب آخر يمكن أن تُغسل كميات كبيرة من الكبريتات SO_4^{-2} عندما تكون الأمطار غزيرة. يتعدى الكبريت المغسول غالباً الكميات التي تمتصها المحاصيل. لقد وجد Pfaff (1963) في تجارب طويلة الأمد أن الترب المتوسطة البناء قد غُسل منها الكبريت بمقدار حوالي 130 كيلوجرام/هـ/السنة. توازن الكبريت من هذه التجارب موضح في الجدول (4.8).

Table 8.4 Sulphur balance sheet growing arable crops in an industrial area under Central European conditions (PFAFF [1963])

Supply to the Soil	kg S/ha/yr	Loss from the Soil	kg S/ha/yr
Fertilizers.............	62	Removal by crops	23
Precipitation	50	Leaching	130
	112		153
Deficit: 41 kg S/ha/yr			

يمكن أن يلاحظ أن كميات الكبريت المضاف بالمطر والسماد كانت أقل من الكميات الممتصة بالمحاصيل والمغسولة بالمطر.

بما أن محتوى الكبريت في التربة لم ينخفض بدرجة معنوية خلال فترة التجربة لذا

فقد افترض Pfaff (1963) أن نقص 41 كيلوجرام/هـ/السنة من الكبريت قد استرجع بالامتصاص مباشرة من الجو بما أن التجارب كانت في منطقة صناعية فهذا الافتراض يبدو أنه مناسب. أصبح تلوث الهواء بثاني أكسيد الكبريت في الدخان في السنوات الأخيرة تحت السيطرة الدقيقة أكثر مما كان عليه في السابق لذلك فالكمية الميسرة للنباتات من الهواء الجوي قد انخفضت. يتبين من النتائج المعروضة في الجدول (4.8) أن مناطق كبيرة من الترب الزراعية قد غيرت موازنة الكبريت الموجبة إلى سالبة. ستكون هذه الحالة أكثر خطورة بانخفاض استهلاك أسمدة محتوية على كبريتات خاصة كبريتات الأمونيوم والسوبرفوسفات Super phosphate.

2.3.8 إضافة الكبريت: Sulphur application

إضافة كميات من الكبريت غير كافية في الأراضي البعيدة ع المناطق الصناعية والبحر وظهور أعراض نقص الكبريت على المحاصيل يكون شيئاً معتاداً. لاحظ Storey and Leanch (1933) منذ أكثر من 40 سنة مضت أعراض نقص الكبريت على نباتات الشاهي في "مالاوي" وأصبح النقص معروفاً باصفرار الشاهي. أصبح الكبريت معروفاً الآن في كثير من مناطق العالم مثل أفريقيا وأستراليا، ونيوزلندا وأمريكا؛ لذلك فإن إضافة الكبريت للمحاصيل أصبح في ازدياد. نقص الكبريت عن الفول السوداني Groundnuts في منطقة السافانا في غانا قد لوحظت بوساطة Agble (1974). تحصل Mclachlan and De Marco (1968) على استجابات لافته للنظر عند إضافة الكبريت للمراعي في استراليا.

لقد لاحظ Walker and Adams (1958) تنافساً على الكبريت بين نباتات

البرسيم والحشائش في تجارب حقلية على نقص الكبريت في "نيوزلندا". لقد امتصت الحشائش كل الكبريتات الميسرة في المعاملات التي بدون كبريت تقريباً وكان قد أهمل تثبيت النيتروجين بوساطة البرسيم. ارتفعت جودة النمو في البرسيم والمادة الجافة وتغطية جيدة للنيتروجين بوساطة عشب المروج Sward وذلك بإضافة الكبريت بمقدار 17كيلوجرام/هـ بالاتحاد مع كمية كافية من سماد النيتروجين. نتج عن معاملة بالكبريت ارتفاع امتصاص النيتروجين بوساطة عشب المراعي Herbage الذي كان أعلى بمقدار ثلاثة أضعاف من معدل النيتروجين المضاف. هذه التجربة توضح الدور الضروري للكبريت لتحفيز النمو وتثبيت النيتروجين بالبقوليات.

تعتمد احتياجات الكبريت الكلية للمحاصيل المختلفة على نوع الإنتاج النباتي وأيضاً على أنواع المحاصيل. فالمحاصيل ذات الإنتاج العالي من المادة العضوية مثل بنجر السكر والذرة وحشيش برمودا Burmuda grass لها متطلبات عالية من الكبريت الذي يصل حوالي 30 – 40 كيلوجرام/هـ/السنة (أنظر الجدول 3.6). الاحتياج العالي للكبريت يكون أيضاً ميزة للمحاصيل الغنية بالبروتين (البرسيم والصفصفة) خاصةً العائلة الصليبية Cruciferae ولذلك فاحتياج اللفت يكون أعلى بحوالي ثلاثة أضعاف من محاصيل الحبوب. تحتاج العائلة الصليبية كمية كبيرة من الكبريت لتكوين زيوت الخردل. لهذا السبب فإنها حساسة جداً للكميات غير الكافية من الكبريت. لقد وضح Delock (1960) احتياجات المحاصيل المختلفة للكبريت والذي يعكس محتواها منه في بذورها وحبوبها كما في الجدول (5.8).

Table 8.5 Sulphur content in grains and seeds of various crops (Deloch [1960])

Gramineae		Leguminosae % S, DM		Cruciferae	
Barley	0.18	Broad beans	0.24	Rape	1.0
Oats	0.18	Bush beans	0.24	White mustard	1.4
Wheat	0.17	Peas	0.27	Oil radish	1.7
Maize	0.17	Soya	0.32	Black mustard	1.0

الأسمدة المحتوية على الكبريت ذات الأهمية الكبرى هي الجبس والسوبرفوسفات وكبريتات الأمونيوم وكبريتات البوتاسيوم وكبريتات بوتاس الماغنسيا. تساهم أسمدة الكبريت المغلفة (أنظر 3.1.6) أيضاً بتزويد النباتات بالكبريت. يستعمل التسميد بالجبس $CaSO_4.2H_2O$ غالباً في الحالات التي تعاني الترب من نقص الكبريت. لقد وضح Mclachlan and De Marco (1968) أم كفاءة الجبس تكون أعلى عندما يكون حجم الحبيبات صغيراً. يوصى بإضافة الجبس في الربيع لتجنب غسل الكبريت بمياه مطر الشتاء كما أن معدلات إضافة الجبس عموماً تكون في مدى 10 – 50 كيلوجرام كبريت/هـ في المناطق ذات الأمطار الغزيرة.

قراءات عامة

General Reading

ANDERSON, J.W.: Sulphur in Biology. The Inst. of Biology's Studies in Biology, No. 101. Edward Arnold, London, 1978.

BROGAN, T.C.: Sulphur in Forages. An Foras Taluntais, Dublin, 1978.

DIJKSHOORN, W. and VAN WIJK, A. L.: The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter, a review of published data. Plant and Soil,26, 129-157 (1967).

EATON, F.M.: Sulfur, In: CHAPMAN, H.D. (ed.) Diagnostic Crieteria for Plants and Soils. p. 444 - 475. Univ. of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

FRENEY, 1.R. and NICOLSON, A.l.: Sulfur in Australia. Australian Acad. Sci. Canberra 1980

McLACHLAN, K. D.: Sulphur in Australasian Agriculture, Sydney University Press, 1975.

NRIAGU, J.O. (Ed) Sulfur in the Environment. 2 vols., Wiley, 1978.

RICHMOND, D.V.: Sulfur compounds, In: MILLER, L.P. (ed.). Phytochemistry, Vol. 3, p. 41. Van Nostrad Reinhold, 1973.

SVENSSON, B.H. and SODERLUND, G.H.: Nitrogen Phosphorus and Sulphur. Global Cycles. Scope Report 7, Ecol. Bull. 22 Stockholm, 1976.

THOMPSON, J.F.: Sulfur metabolism in plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 18, 59-84 (1967) WALKER, T. W.: The sulphur cycle in grassland soils. J. Br. Grassld. Soc., 12, 10-18 (1957).

WHITEHEAD, D. C.: Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. Soils Fert., 29, 1-9 (1964).

الفصل التاسع

الفسفور

1.9 فسفور التربة: Soil Phosphorus

1.1.9 أجزاء الفسفور ومعادن الفوسفات

Phosphorus fractions and phosphate minerals

يوجد الفسفور في التربة على وجه الحصر على شكل أرثوفوسفات Orthophosphate ومحتواه الكلي حوالي 0.02-0.15 % فسفور. ترتبط كمية كبيرة من هذا الفسفور بالمادة العضوية للتربة ((Williams (1959)) وفي معادن التربة معدل الفسفور العضوي يتراوح ما بين 20 إلى 80 % من الفسفور الكلي. لقد بين Mandal (1975) أن في ترب الأرز في غرب البنغال تقدر كمية الفسفور العضوي بحوالي 35 % من الفسفور الكلي للتربة. محتوى الفسفور العضوي في الترب المعدنية البكر يعتمد بدرجة كبيرة على عمر التربة وهذا موضح في الشكل (1.9) الذي يبين توزيع أجزاء فسفور التربة في تعاقب زمني لتطور الترب في نيوزيلندا ((Walker and Syers (1976)). يمكن ملاحظة أن جزءاً من الفسفور العضوي في مقطع جانبي للتربة Profile يصل أقصاه ثم يتناقص ببطء. في معظم الترب المعدنية يعتقد أن الأباتيت Apatites هو الفوسفات الأولية المحتوية على المعادن التي تجلب منها أجزاء التربة الأخرى المحتوية على الفسفور. في الشكل (1.9) نجد هذه الأجزاء موضحة كالفوسفات غير العضوي وغير المثبت Non occluded والفوسفات غير العضوي المثبت occluded. الجزء غير المثبت يحتوي على فوسفات في المحلول وفوسفات مدمص على أسطح التربة وبعض معادن الفوسفات. يكون جزء الفوسفات المثبت مرتبط بمعادن الحديد والألمنيوم، وغالباً داخل غرف مركبات هيدروكسي الحديد Fe-hydroxy. الشكل (1.9)

أيضاً يوضح أن خلال تكوين التربة تُفقد كمية كبيرة من الفوسفات من التربة وهذا ينتج عنه نقل الفوسفور المذاب خارج مقطع التربة. عندما يؤخذ في الاعتبار الزمن كمقياس فمن الواضح أن معدل الغسل السنوي للفوسفات يكون منخفضاً جداً (أنظر 3.1.6).

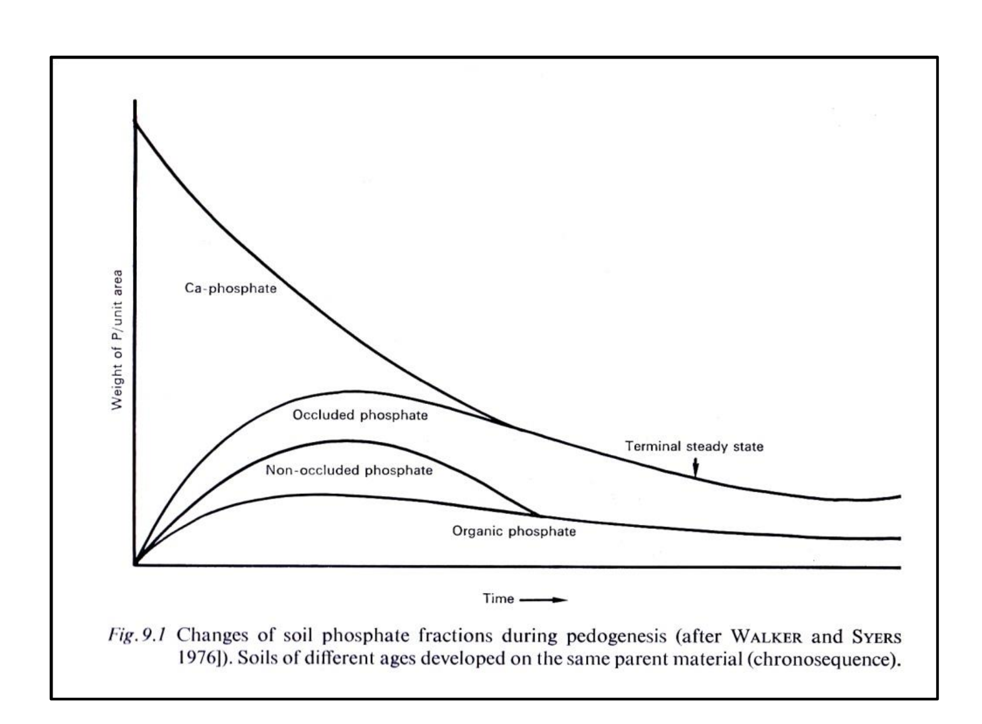


Fig. 9.1 Changes of soil phosphate fractions during pedogenesis (after Walker and Syers 1976]). Soils of different ages developed on the same parent material (chronosequence).

لشرح الأشكال المختلفة لفوسفات التربة وعلاقاتها المتداخلة يكون أبعد من الغرض والهدف لهذا الكتاب. لقد أخذ في الاعتبار ببساطة وجهة نظر تغذية النبات حيث يمكن تقسيم أجزاء فوسفات التربة المهمة إلى ثلاثة رئيسية وهي:

1- الفوسفات في محلول التربة (المذاب).

2- الفوسفات غير المستقر أو المتغير Laboile Pool

3- الفوسفات المستقر المثبت Non-Labile fraction

هذه الأجزاء الثلاثة مبينة في الشكل (2.9). الجزء الأول هو الفوسفات المذاب في محلول التربة. أما الجزء الثاني فهو الفوسفات الصلب المحمول على الأسطح لذلك فهو في توازن سريع مع فوسفات محلول التربة ويمكن تقديره باستخدام تبادل النظير المشع Isotopic exchange ويسمى الفوسفات المتغير Labile phosphate (أنظر 5.4.2). والجزء الثالث هو الفوسفات غير المذاب الذي يمكن أن يتحرر ببطء فقط إلى الفوسفات غير المستقر.

لقد أجريت عدة محاولات لربط الفوسفات الثابت (غير الذائب) بمعادن تربة معينة وهذه البحوث تكون معقدة بسبب حقيقة أن كثيراً من الفوسفات للتربة يحتوي شوائب تؤثر في إذابتها. وبذلك على مقدرتها في التبادل الأيوني للفوسفات مع محلول التربة. في كثير من الترب فإن الأبتايت Apatites يكون أهم فوسفات غير عضوي ثابت أو مستقر.

بالإضافة إلى بعض فوسفات الحديد والألمنيوم وأيضاً فسفور التربة العضوي يعتقد أنها تتبادل مع أيونات الفوسفات ببطء شديد، ولذلك فإنها تتبع جزء الفوسفات الثابت.

بعض معادن الفوسفات التربة المهمة الموضحة في الجدول (1.9) والتي ذوبانها معروفاً في الأنظمة المحددة جيداً، لكن هذه البيانات قليلة الاستعمال في تحديد ذوبانية فوسفات التربة ((Larsen (1967) وذلك بسبب الطبيعة المعقدة لنظام التربة.

تحتوي معظم معادن الفوسفات على شوائب قد تؤثر في ذوبانها، لذا فإن الهيدروكسي اباتيت Hydroxyaptite مع شوائب الكربونات لها ذوبان أعلى بكثير من الأباتيت Apatite النقي ((Khasawneh and Doll (1978).

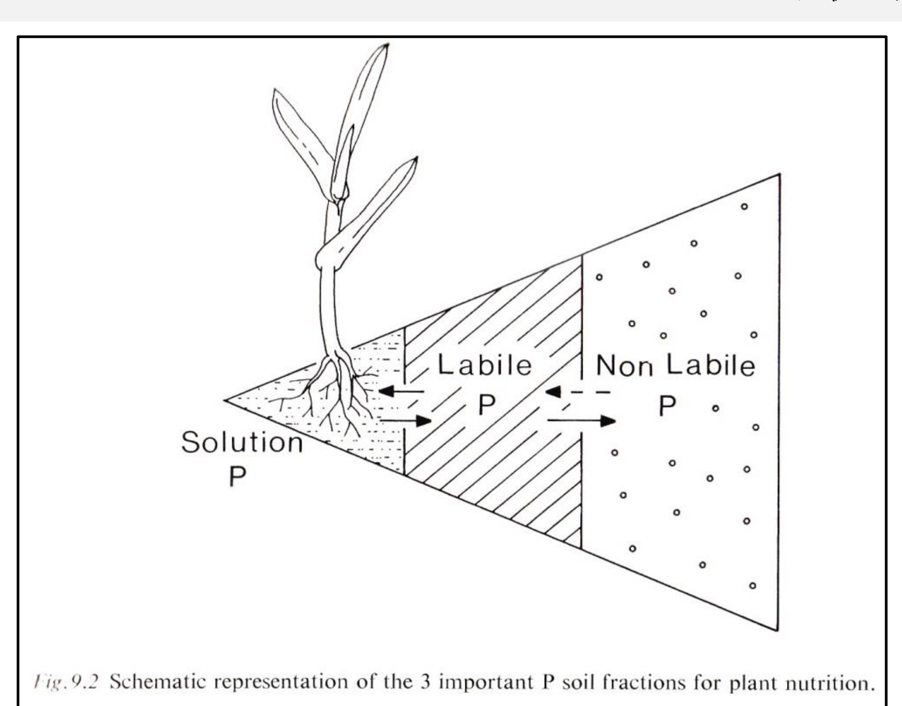


Fig. 9.2 Schematic representation of the 3 important P soil fractions for plant nutrition.

Table 9.1 Important soil phosphate minerals

Mineral	Formula
Hydroxyapatite	$Ca_5(PO_4)_3OH$
Fluorapatite	$Ca_5(PO_4)_3F$
Dicalciumphosphate	$CaHPO_4$
Tricalciumphosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
Variscite	$AlH_2PO_4(OH)_2$
Strengite	$FeH_2PO_4(OH)_2$

لقد أعتقد أن كل الأسرتنجايت Strengite والفرسايت Variscite من أهم فوسفات التربة وأدلة ساقها (1967) Larsen تقترح أنهما يوجدان فقط تحت الظروف التي يكون فيها الرقم الهيدروجيني منخفضاً عن 4.2 للأسترنجايت أو 3.1 للفرسايت. هذان المعدنان للفوسفات يظهران أهميتهما ثانية لمعظم الترب الزراعية. بهذه الملاحظات القليلة

يمكن تقدير أن ذوبان معادن الفوسفات في التربة ليس من السهل التنبؤ به. الدور الذي تلعبه معادن الفوسفات في التربة في تغذية النبات هو أكثر تعقيداً مما كان متصوراً.

2.1.9 إدمصاص وتحرر ومعدنة الفوسفات

Phosphate adsorption, desorption and mineralization

إن جزء الفوسفات المتغير Labile يتكون أساساً من فوسفات مدمص لسطح معادن الطين والأكاسيد المائية والكربونات وحتى الأباتيت، إلى جانب فوسفات الحديد والألمنيوم. هذا الجزء يكون في توازن سريع مع فوسفات محلول التربة. العلاقة بين كمية الفوسفات المدمصة وتركيز الفوسفات المتوازن لمحلول التربة يمكن شرحها بوساطة نموذج التماثل الحراري للانجمير Langmuir type isotherm (أنظر الشكل (4.2)) (Parfitt (1978)). شدة انحدار المنحنى هو مقياس السعة التنظيمية لفوسفات أو القدرة التنظيمية ويعبر عن العلاقة بين الكمية (Q) والشدة (I) (أنظر 5.3.2) التي يمكن أن تتباين إلى حد بعيد للترب المختلفة. وعموماً فإن الترب الرملية تكون مميزة بمنحنى أفقي في حين الترب الغنية بمعادن الطين والسيسكواكسيدات Sesquioxides يكون المنحنى شديد الانحدار.

إن الرقم الهيدروجيني للتربة يكون العامل المؤثر المهم في ميل المنحنى لأن الأنيونات تكون ممتصة بقوة أكثر عندما يكون الرقم الهيدروجيني منخفضاً. كلما زاد رقم التربة الهيدروجيني فإن أيونات الهيدروكسيل OH^- والبيكربونات HCO_3^- تكون قادرة على التبادل مع الفوسفات المدمص، وينطلق في محلول التربة في عملية تسمى التحرر من الإدمصاص Desorption. تأثير الرقم الهيدروجيني على ادمصاص الفوسفات قد شُرح في ترب

الاندوزلس Andosols بوساطة Kawai (1980). تعتبر الألوفينات Allphanes هي الجزء الطيني الرئيسي في هذه الترب وتدمص عليها الفوسفات بقوة كبيرة. بعض نتائج هذا الباحث مبينة في الشكل (3.9) يوضح المنحنى رسم بيانياً لإدمصاص الفوسفور مع النسبة المئوية للألمنيوم غير المتبلر Amorphous Al لعدد 14 تربة. إنه من الواضح أن الميل لمنحنى إدمصاص الفوسفات كان أكبر عند الرقم الهيدروجيني 4.5 عنه عند 7.0، بمعنى آخر عند الزيادة في الألمنيوم غير المتبلر يكون إدمصاص الفوسفات أعلى عند الرقم الهيدروجيني 4.5 من 7.0. الشكل (3.9) يوضح أيضاً العلاقة الخطية بين إدمصاص الفوسفات وكمية الألمنيوم غير المتبلر في ترب Andosols. في الترب التي يكون فيها الفوسفات الجزء المدمص الرئيسي فإن تيسر الفوسفات يزداد بوساطة ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة ولقد تم توضيح ذلك في تجارب أصص قام بها Hageman and Müller (1976). تدمص الفوسفات على أكاسيد الحديد بقوة أكثر من معادن السلكات الطبقية. من المفترض أن إدمصاص الفوسفات على أكاسيد الحديد يكوِّن بناءاً بلورياً Crystalline. إن عملية إدمصاص النترات غير النوعي يثبت إدمصاص الفوسفات على سطح أكاسيد الحديد.

إدمصاص الفوسفات على حبيبات التربة ليس نموذجاً في كثير من الأحيان لكنه بالأحرى يكون إتحاد لعملية الادمصاص وعملية الترسيب ((Larsen (1967). لذلك تدمص الفوسفات على كربونات الكالسيوم أو تتحول ببطء إلى اباتيت Apatite (Parfitt (1978)) بهذه الطريقة بعض الفوسفات المتغير يكون باستمرار مذاباً غير متحرك وبذلك يتحول إلى الفوسفات الثابت. هذه العملية لعمر الفوسفات Phosphate ageing تكون في

الترب الكلسية Calcareous Soils سريعة كما تم توضيحه من قِبل Keerthisinyhe and Mengel (1979).

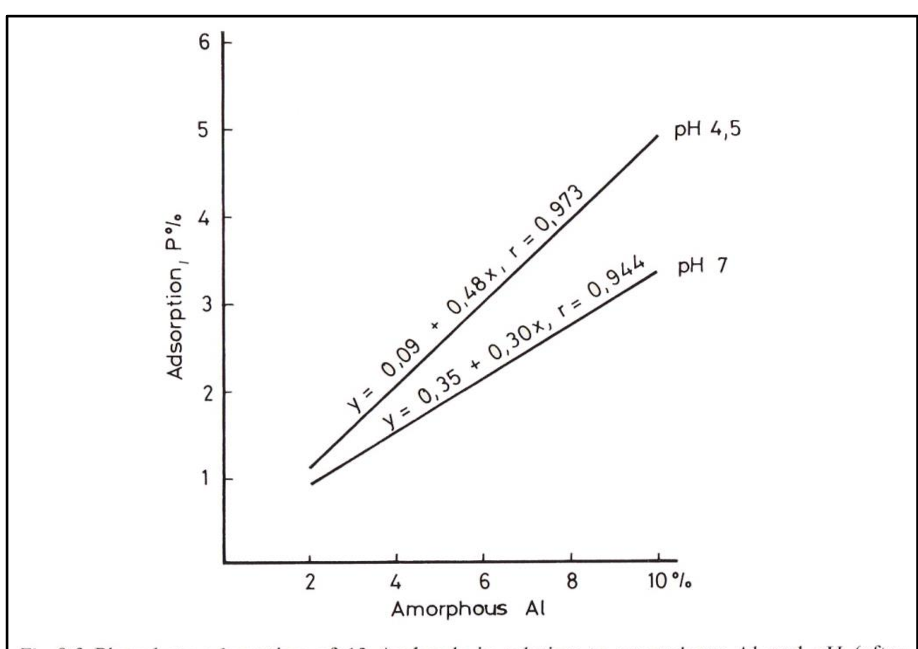


Fig. 9.3 Phosphate adsorption of 13 Andosols in relation to amorphous Al and pH (after KAWAI [1980]).

بالإضافة إلى إدمصاص الفوسفات فإن تكوين رواسب منخفضة الإذابة لفوسفات الألمنيوم والكالسيوم والحديد قد يخفض تيسر الفوسفات. الراسب من فوسفات الكالسيوم يكون محفز بالتراكيز العالية لأيون الكالسيوم Ca^{+2} في محلول التربة وظروف ارتفاع الرقم الهيدروجيني. ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة يمكن أن يشارك بالتأثر العكسي المفاجئ على تيسر الفوسفات طالما أنه من ناحية ترسيب فوسفات الكالسيوم يكون إيجابياً في حين يزداد

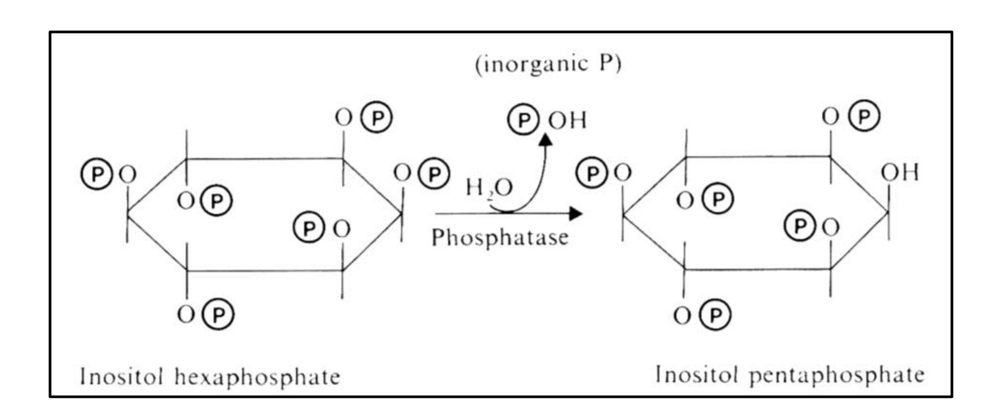
تحرر الفوسفات المدمص. من أجل تحديد قيمة تيسر فوسفات الترب لذا يكون من الواجب معرفة صلة أي من تلك العمليتان وهما إما ترسيب فوسفات الكالسيوم أو تحرر الفوسفات المدمص وأيهما تكون أكثر أهمية. على العموم في الترب الغنية بأكاسيد الألمنيوم والحديد ومعادن الطين أيضاً. ويبدو أن تحرر الفوسفات المدمص يكُون العملية الأكثر سيادة في حين نجد في الترب الرملية الفقيرة وفي الترب الكلسية وخاصةً في الترب العضوية يلعب ترسيب الفوسفات دوراً رئيسياً.

تحت الظروف اللاهوائية الفوسفات غير المتحرك يمكن أن يصبح ذائباً بسبب التحلل المائي Hydrolysis لفوسفات الحديد والألمنيوم إلى جانب تحرر الفوسفات الثابت ((Ponnamperuma (1972). هذه الزيادة في إذابة الفوسفات تكون مرتبطة كثيراً مع زيادة الحديدوز في محلول التربة دلالة على أن اختزال الحديديك يكون مرتبطاً مع تحرر الفوسفات.

تحلل المادة العضوية هو عملية إضافية والتي تؤثر بشكل مباشر في إدمصاص الفوسفات، حيث أن المادة العضوية في التربة تحتوي على فسفور، لذا فإن عملية معدنة المادة العضوية تؤدي إلى انطلاق الفوسفات إلى محلول التربة والذي يؤثر في التوازن بين أيونات الفوسفات الحرة والمدمصة. المادة العضوية في التربة بفعل الأحياء الدقيقة يكون مرتبطاً مع زيادة إنتاج ثاني أكسيد الكربون الذي من المحتمل أن ترفع إذابة افوسفات التربة.

إن معظم فوسفات التربة العضوي يكون موجوداً في صور إسترفوسفات الأينوسيتول Inositol Phosphate ester وسداسي فوسفات الأنيوسيتول Inositol Phosphate ولدرجة أقل من ثنائي وثلاثي ورباعي فوسفات الأنيوسيتول بعض من هذه الفوسفات

العضوية تكون منتجة بوساطة النباتات الراقية، ومع ذلك فمعظمها تصنعه الأحياء الدقيقة ((Dalal (1977). فوسفات الأنيوسيتول يكون عرضة للإدمصاص ولذلك فيقل التيسر كلما زادت سعة التربة لادمصاص الفوسفات.



إن جوهر العملية التي تجعل الفوسفات العضوي متيسراً يكون عن طريق انقسام الفوسفات غير العضوي بتفاعل أنزيم الفوسفاتير Phosphatase. أساس هذا التفاعل هو التحلل المائي Hydrolysis كما هو مبين في المعادلة أعلاه. ينتج أنزيم الفوسفاتير بجذور النباتات الراقية كما ينتجه أيضاً عدد كبير من الأحياء الدقيقة. (Penicillium, Aspergillas, Pseudomonas, Bacillus, Rhizopus, Mucor). حسب Sentenac et al. (1980) فإن جدار خلايا الجذور يكون فيها أنزيم الفوسفاتيد عالي النشاط. تقوم أنزيمات الفوسفاتيز بمعدنة فوسفات الفيتينات Phytins والأحماض النووية وجليسرات الفوسفات Phosphoglycerates. لقد أقترح أن نشاط فوسفات الميكوريزا Mycorrhiza قد يلعب دوراً في قدرة هذه الأحياء لتحريك فوسفور التربة

(Dalal (1977)). يعتمد نشاط تلك الأحياء بشكل كبير على الحرارة ويكون أقصاه في مدى 30 – 45مْ ولهذا السبب فإن الفوسفات العضوية هي ذات أهمية كبرى لتغذية النبات تحت ظروف المناخ الاستوائي إذا ما قورنت بالظروف المعتدلة. في مراجعة عملية قام بها Dalal (1977) أكدت بأن محلول التربة يحتوي أيضاً على كمية كبيرة من الفوسفات العضوية الضعيفة التيسر للنباتات والتي يعتقد أنها تكون غروية Colloidal.

3.1.9 الفسفور في المحلول وتفاعلات جذور النبات:

Phosphorus in solution and plant root interaction

كمية الفوسفات الموجودة في محلول التربة تكون قليلة جداً مقارنة مع الفوسفات المدمص الذي يزيد عن فوسفات محلول التربة بمعامل 10^2 إلى 10^3.إن تركيز فوسفات محلول التربة يكون مخففاً جداً وفي الترب الزراعية الخصبة يكون حوالي 10^{-5}– 10^{-4} مول (Hossner et al. (1973) , Mengel et al. (1969)). هذا يكون مكافئاً لحوالي 0.3–3 جزء في المليون فسفور.

إن أهم الأيونات المحتوية على الفسفور في محلول التربة هي HPO^{-2}_4 و $H_2PO^{-1}_4$ والنسبة بين هذين النوعين في محلول التربة تعتمد على الرقم الهيدروجيني. التركيز العالي لأيون الهيدروجين يحول التوازن إلى الصورة ذات بروتين أكثر حسب المعادلة التالية:

$$HPO^{-2}_4 + H^+ \rightarrow H2PO^{-1}_4$$

يبين الشكل (4.9) أن عند الرقم الهيدروجيني 5 يكون HPO^{-2}_4 غالباً غائباً في حين عند الرقم الهيدروجيني 7 تتساوى كل أنواع الفوسفات كمياً تقريباً.

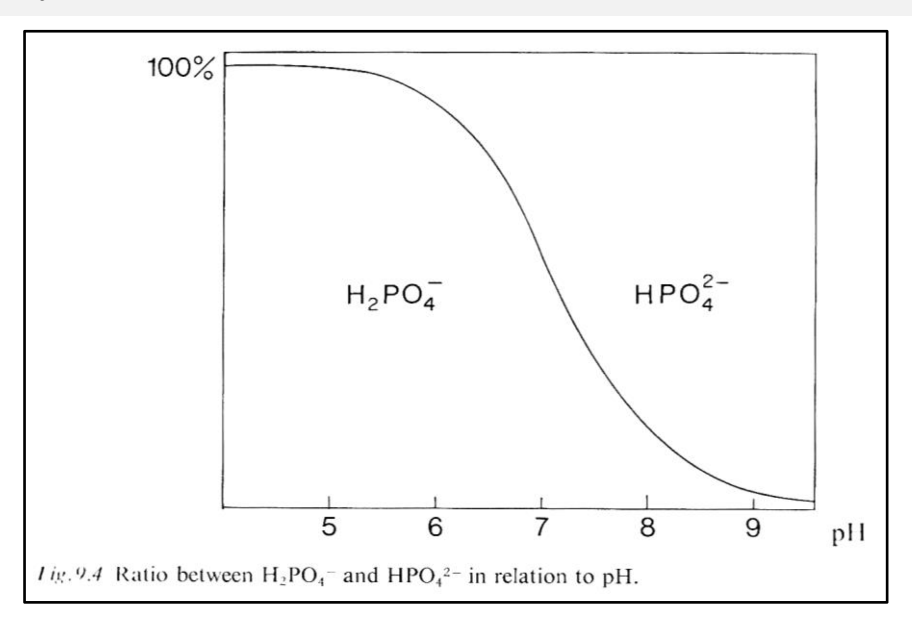


Fig. 9.4 Ratio between $H_2PO_4^-$ and HPO_4^{2-} in relation to pH.

عندما تنمو جذور النبات خلال التربة تتلامس مع فوسفات محلول التربة. عموماً تحتاج الجذور كميات من الفسفور خلال نمو النبات فتمتص الفوسفات بمعدل مرتفع وبذلك يُستنزف الفوسفات من محلول التربة في المنطقة المحيطة بالجذور. هذا الاستنزاف يبني تدرجاً Gradient في التركيز بين تركيز الفوسفات بالقرب من سطح الجذور وتركيز الفوسفات في التربة المحيطة ((Olsen and Watauabe (1970)، إن التدرج في التركيز Gradient concentration ينظم معدل انتشار الفوسفات في اتجاه جذور النبات (أنظر 3.3.2). إن الأهمية في انتشار الفوسفات لتزويد النباتات به قد بينها (Bhat and Nye (1974 في تجارب أوضحت أن درجة استنزاف الفسفور حول جذور البصل تطبيقياً تتوافق مع حسابات انتشار الفسفور. الجريان الكلي Mass flow يمكن أيضاً أن يلعب دوراً في نقل الفوسفات

إلى جذور النبات (أنظر 3.3.2) وطبيعياً فإن مساهمته تكون أقل ما يمكن طالما أن تركيز الفوسفات في محلول التربة يكون قليلاً جداً ((Bole (1973).

لقد بينت تجارب Sanders and Tinker (1973) أن الجذور المصابة بفطريات الميكوريزا الداخلية التغذية Endotrophic mycorrhizal fungi يمكن أن تحفز نمو النبات بزيادة معدل امتصاص الفوسفات.

مثال على هذه التأثيرات المثيرة يمكن أن تلاحظ في الشريحة (1.9) فجذور البصل التي أصيبت بفطريات الميكوريزا الداخلية التغذية امتصت الفوسفات بمعدلات عالية في وحدة الطول للجذور أعلى من الجذور غير المصابة. سواء كان التأثير سببه زيادة الامتصاص للسطح المشترك للجذور وللفطر ليسمح بزيادة في الاستكشاف في التربة عن الفوسفات فإن هذا لم يؤكد بعد. لقد بحث Cress et al. (1979) حركة امتصاص الفسفور في جذور الطماطم ابالميكوريزا وأخرى بدونها، فقد قرر أن العامل الرئيسي للإسهام في زيادة الامتصاص بوساطة الجذور بالميكوريزا ظهر أنها كانت ذات صلة كبيرة بموانع امتصاص الفسفور عن هيفات Hyphae الميكوريزا. هذه النتائج قد تشرح مشاهدات Cooper and Tinker (1978) عن العلاقة الضعيفة التي تبين نقل الفسفور من الهيفات (الخيوط الفطرية) وعددها وطولها المشترك، يظهر تفسير معقول لآلية موقع الانجذاب.

تأثير الميكوريزا على نمو النبات وامتصاص الفوسفات يلاحظ في التربة التي فيها الفوسفات محدود. وتعليل سبب زيادة الإصابة بالميكوريزا تحت ظروف نقص الفسفور ليس واضحاً. لقد أقترح Jasper et al. (1979) أن ارتفاع مستوى الكربوهيدرات والجذور هو

شرط أساسي هام لحدوث تلقيح جيد بالميكوريزا. هذا يتفق مع ما لوحظ بأن النباتات الضعيفة التزويد بالفسفور تكون مستويات الكربوهيدرات في جذورها أعلى من جذور النباتات المزودة بكميات كافية من الفسفور. تلقيح المحاصيل الزراعية بفطريات الميكوريزا الداخلية التغذية المناسبة ربما سيبرهن على أهمية الزراعة في الترب التي يكون فيها الفسفور غير كافٍ. حسب Brown (1973) فإن هيفات الميكوريزا Mycorrhizal hyphae تكون قادرة أيضاً على النمو جيداً حتى تحت ظروف انخفاض جهد الماء المنخفض في التربة. وهذا يكون ذا أهمية خاصة لحركة فوسفات التربة تحت ظروف التربة الجافة.

إن تأثير إفرازات الجذور على إذابة الفوسفات في محيط الجذور جذب الانتباه بشدة. هناك الآن برهنة على أن كمية كبيرة نسبياً من الكربون الذي يتم تمثيله في عملية البناء الضوئي وتنتقل من الجذور إلى التربة (أنظر 7.3.2).

لقد وجد Barber and Martin (1976) أن 20% من عملية التمثيل الضوئي لبادرات القمح كان قد أنطلق في التربة، وجزء كبير من المادة يتكون من أحماض مخلبية Chelating acids. مثل تلك المخلبيات العضوية قد تتبادل مع سطح الفوسفات المرتبط وبذلك ينطلق الفوسفات لكي يمتصه النبات. هذا يبدو تفسير لما وجده Brewster et al. (1976) الذين لاحظوا مناطق استـــنـــزاف الفسفور حول جذور اللفت بأنها عميقة جداً وأوسع من المتوقع من القياسات المستقلة عن النباتات والترب. لقد عزل Moghimi et al. (1978) مركب Keto-gluconate2 من منطقة جور نبات القمح Rhizosphere في كميات يمكن أن تذيب فيها كميات هامة من الفوسفات من هيدروكسي اباتيت

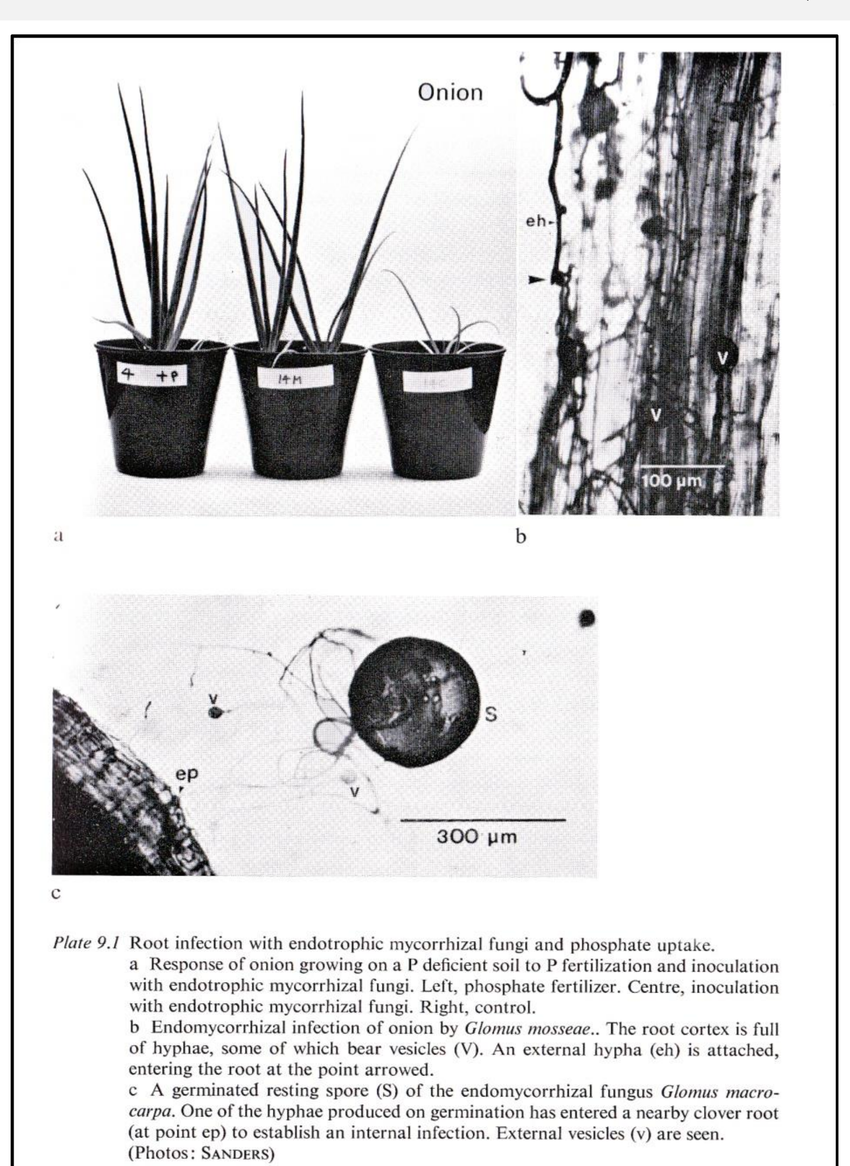


Plate 9.1 Root infection with endotrophic mycorrhizal fungi and phosphate uptake.
a Response of onion growing on a P deficient soil to P fertilization and inoculation with endotrophic mycorrhizal fungi. Left, phosphate fertilizer. Centre, inoculation with endotrophic mycorrhizal fungi. Right, control.
b Endomycorrhizal infection of onion by *Glomus mosseae*.. The root cortex is full of hyphae, some of which bear vesicles (V). An external hypha (eh) is attached, entering the root at the point arrowed.
c A germinated resting spore (S) of the endomycorrhizal fungus *Glomus macrocarpa*. One of the hyphae produced on germination has entered a nearby clover root (at point ep) to establish an internal infection. External vesicles (v) are seen.
(Photos: SANDERS)

Hydroxyaptite. تحرر مثل تلك المخلبيات Chelate من الجذور ومن الشعيرات الجذرية قد يزود كمية كافية من الفوسفات المذاب ولقد نوقش هذا الموضوع بوساطة

.Nye (1979),(1977)

هناك تأثير آخر للجذور على تيسر الفسفور وهو التأثير على تغير الرقم الهيدروجيني في منطقة الجذور. الرقم الهيدروجيني عند سطح الجذر قد يكون مختلفاً بوحدة واحدة عن بقية التربة (أنظر (1977) Nye). هذه الاختلافات في الرقم الهيدروجيني تحدث بوساطة تفاوت معدلات الامتصاص للكاتيونات والانيونات وترتبط مع تدفق الهيدروكسيد OH^- أو الهيدروجين H^+.

هنا تلعب صورة النيتروجين دوراً مهماً في تغذية النباتات بالنيتروجين في صورة نترات NO_3^- الذي يكون موجوداً غالباً في معظم الترب الزراعية وامتصاص الأنيون يتعدى امتصاص الكاتيون وينطلق البيكربونات HCO_3^- والهيدروكسيد OH^- من الجذور (أنظر 7.3.2). الرقم الهيدروجيني في منطقة الجذور يكون أكثر قاعدية من بقية التربة. من ناحية أخرى فالنباتات المزودة بالأمونيوم NH_4-N أو جزيء النيتروجين N_2 (تثبيت النيتروجين التكافلي) تمتص كاتيونات أكثر من الأنيونات ويحرر الهيدروجين H^+ في التربة وتكون منطقة الجذور حامضية ((1981) Kirkby). هذه الاختلافات في السلوك قد تؤثر في امتصاص النباتات للفسفور طالما أن إذابة الفسفور في التربة تعتمد بدرجة كبيرة على الرقم الهيدروجيني.من أجل تحديد تأثير تغيرات الرقم الهيدروجيني في الجذور الاسطوانية Rhizocylinder على امتصاص الفسفور فيجب أن تعرف العلاقة بين إذابة الفسفور والرقم الهيدروجيني لكل تربة. تزداد إذابة الفسفور عادة وليس دائماً مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة من 4 إلى 6.5 إذابة الفسفور تنخفض في الترب الكلسية والقلوية كلما ارتفع الرقم

الهيدروجيني من 6.5 إلى 8.3. إن تأثير تغذية الأمونيوم على حموضة منطقة الجذور وكذلك ارتفاع تيسر الفسفور في الترب الكلسية والقاعدية يكون أكثر وضوحاً من تأثير القلوية لتغذية النترات على تيسر الفسفور في الترب الحامضية. التغيرات في الرقم الهيدروجيني على منطقة جذور فول الصويا قد تم حثها بالصور المختلفة للتغذية بالنيتروجين والعلاقة مع امتصاص الفسفور كما قرر Riley and Barber (1971) وأتضح جيداً أن انخفاض الرقم الهيدروجيني زاد في امتصاص الجذور للفسفور.

هناك عدد من الكائنات الدقيقة معروفة بإنتاج الأحماض وعوامل مخلبية Chelating agents تلعب دوراً في إذابة فوسفات التربة والسماد، هذه الأحياء تتضمن أسبرجلس نيجر Aspergillus niger من سلالة Escherichia freundi وبعض أنواع البنسيليوم Penicillium وأنواعاً من Pesudomonas ((Subra Rao (1974)). أهمية هذه الأحياء في امتصاص الفسفور ونمو المحصول تقييمه ويحتاج إلى دراسة إضافية أخرى.

2.9 الفسفور في الفسيولوجي Phosphorus in Physiology

1.2.9 الامتصاص والانتقال Absorption and translocation

جذور النباتات قادرة على امتصاص الفوسفات من محاليل ذات تركزات منخفضة جداً ((Lonergan and Asher (1967)) في العموم محتوى خلايا الجذور من الفوسفات وعصارة الخشب تكون حوالي 100 إلى 1000 مرة أعلى من محلول التربة، وهذا يوضح أن الفوسفات تمتصه خلايا النبات ضد التركيز العالي جداً وبهذا يكون امتصاصه نشطاً. العلاقة بين أيض النبات وامتصاص الفوسفات تمت دراسته عن طريق عدد من الباحثين حيث

لاحظوا أن معدلات ارتفاع امتصاص الفوسفات مرتبطة بالنشاط الأيضي العالي. لقد وجد Hai and Laudelout (1966) أن ارتفاع الضغط الجزئي للأكسجين في المحلول المغذي ينتج عنه زيادة معدل امتصاص الفوسفات في جذور الأرز، لقد وجد Weigle (1967) أيضاً أن امتصاص الفسفور بوساطة نبات الوديا كانادنسس Elodia Canadensis كان أعلى في الضوء منه في ظروف الظلام، وهذا قد يكون مؤشر بأن أيض الكربوهيدرات للتنفس يحث عملية الامتصاص النشط للفوسفات كما وضحت التجارب الأخرى. لقد افتُرِض أن هذا الامتصاص يكون بوجود حامل وسيط سواء واحد أو أكثر من نظام حوامل تكون مستخدمة في هذه العملية وما زال موضع سؤال. تختلف مقدرة الامتصاص النشط للفوسفات فيما بين أنواع النبات وربما تختلف فيما بين الأصناف لنفس النوع. لقد وجد Baeber and Thomas (1972) على سبيل المثال اختلافات كبيرة في معدل امتصاص الفوسفات بوساطة أصناف مختلفة من الذرة مع اعتقادهما بأن مقدرة النباتات لامتصاص الفوسفات ثابتة وراثياً. في بحث مشابه عن كفاءة امتصاص الفوسفور قد أوضحت عن البنيات الوراثية لمحاصيل أخرى من ضمنها الذرة السكرية Sorghum (Brown et al. (1977)). يمكن أن تكون كفاءة الفسفور ذات قيمة في العمليات الزراعية عندما يكون الفسفور محدداً. من ناحية أخرى لاحظ Brown et al. (1977) أن البنيات الوراثية Genotypes لكفاءة الفسفور يمكن أن تكون عائقاً عندما تكون عُرضة لإجهاد الحديد أو النحاس إذ أن الكفاءة الكبيرة لتمثيل الفوسفور تسبب قابلية النبات لنقص الحديد أو النحاس.

إن معدل امتصاص الفوسفات يعتمد على الرقم الهيدروجيني، فلقد وجد Hendrix (1967) أنه عند الرقم الهيدروجيني 4 عنده تمتص نباتات الفاصوليا الفوسفات بمعدل أعلى 10 أضعاف مما هو عند الرقم الهيدروجيني 8.7. لذا نتجت ملاحظات Hai and Laudelout (1966) مشابهة حيث بينو أن أقصى معدلات لامتصاص الفوسفات بوساطة جذور الأرز كان عند الرقم الهيدروجيني 5.6 وأن معدل امتصاص الفوسفات ينخفض بسرعة مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني. بما أن هذا الانخفاض يتبعه تغير في نسبة الفوسفات HPO^{-2}_4 / $H2PO^-_4$ في المحلول الغذائي، فقد افترض Hai and Laudelout (1966) أن أيون الفوسفيت $H2PO^-_4$ تمتص حيوياً فقط وليس أيون الفوسفات HPO^{-2}_4. إنه من المشكوك فيه فيما لو أن المركبات العضوية للفسفور تمتصها جذور النبات وإلى أي مدى. حسب بحوث Roux (1968) بأن الفسفور الموجود في عديد الفوسفات Polyphosphates كان يؤخذ بوساطة نباتات الشعير الحديثة التكوين بعد التحلل المائي إلى صورة الاورثوفوسفات Orthophophates.

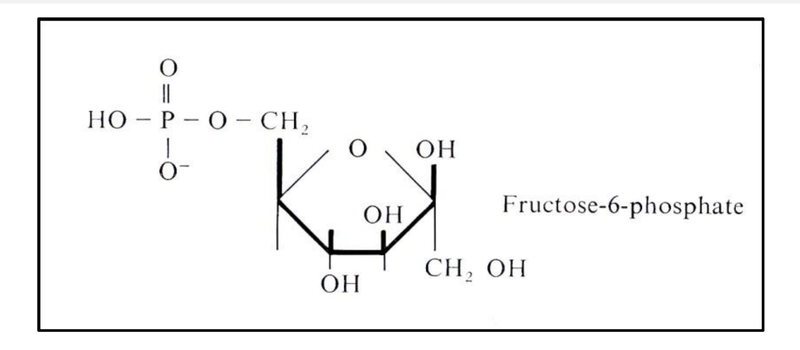
يصبح الفوسفات الممتص بخلايا النبات مستخدماً بسرعة في عمليات الأيض. لقد أوضح Jackson and Hugen (1960) أنه بعد فترة 10 دقائق فقط من الامتصاص فإن 80% من الفوسفات الممتص اندمج في المركبات العضوية. تتكون الفوسفات العضوية في الفترة الوجيزة جوهرياً من فوسفات الهكسوز Hexose phosphates ويوريدين ثنائي الفوسفات Uridine diphosphate. يتحول الفوسفات داخل النبات ويمكن أن ينتقل في الاتجاه الأعلى أو الأسفل. لقد وجد Clarkson et al. (1968) أن الفسفور الممتص

بوساطة حلقات قاعدة جذور الشعير الموجود في الأوراق القديمة ((Bouma (1967). في تجارب (1970) Morard على القمح Buck wheat في محلول غذائي وجد أن الفوسفات انتقل مبدئياً إلى الأوراق الحديثة وبعد بضعة أيام أعيد انتقاله جزئياً إلى الأوراق القديمة. هذا الانتقال إلى أسفل يحدث أساساً في اللحاء. لقد اقترح (1956) .Maizel et al أن كولين الفوسفوريل Phosphorylcholime يكون الحامل الرئيسي للفسفور في الانتقال اللحائي. بيانات أخرى قدمها كل من (1972) Hall and Baker أوضحت أن الفسفور غير العضوي هو أيضاً موجود في عصارة اللحاء بتركيز عالٍ وهذا يدل على أن الفسفور غير العضوي يلعب دوراً رئيسياً في الانتقال باللحاء. (أنظر الجدول 5.4).

2.2.9 أجزاء الفسفور والوظائف الأيضية:

Phosphor fractions and metabolic function

يوجد الفوسفات في النبات في صورة غير عضوية كالارثوفوسفات Orthophosphate ويوجد القليل كبيروفوسفات Pyrophosphate. الصور العضوية للفوسفات هي المركبات التي تكون فيها الاستر للأرثوفوسفات مع مجموعات هيدروكسيل للسكر والكحول أو ترتبط برابطة بيروفوسفات مع مجموعة فوسفات أخرى والمثال النموذجي لإسترالفوسفات Phosphate ester هو فركتوز-6-فوسفات Fractose-6-Phosphate



إن الفوسفات العضوية (الكحول والسكريات الفسفرة) تكون أساساً مركبات وسطية في الأيض. الفوسفات يكون مرتبطاً أيضاً مع مركبات جاذبة للدهون Lipophilic خاصةً في مشتقات الفوسفاتيدات Phosphatidyl (دهون فوسفاتية Phospholipids) والليسثين Lecithin يكون المثال النموذجي لهذا النوع.

$H_2C - O - CO - R$

$R' - CO - O - CH$

$H_2C - O - P(=O)(O^-) - O \mid CH_2 - CH_2 - N^+(CH_3)_3$

Phosphatidyl | Choline

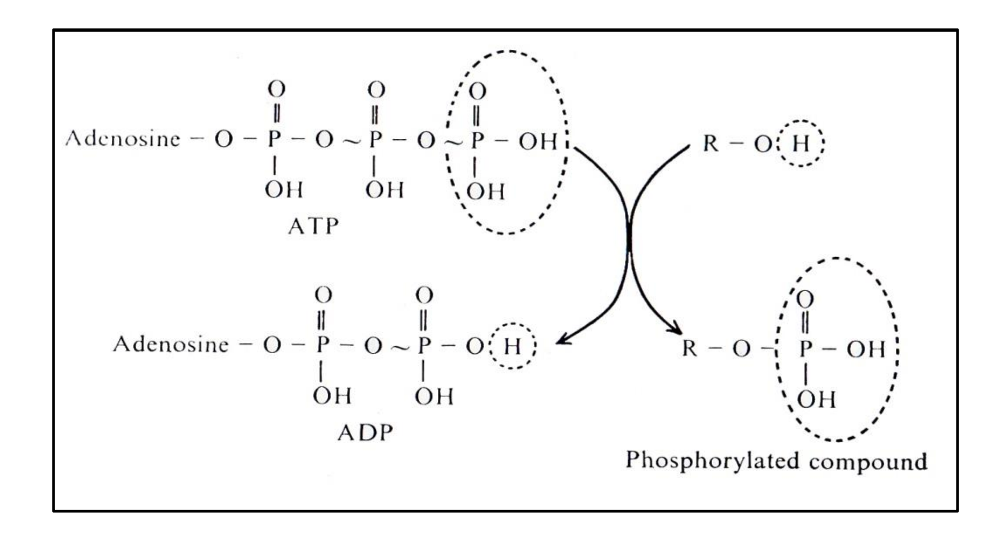
Lecithin

كما يلاحظ من التركيب أن الفسفور مرتبط برابطة الاستر الثنائي Diester وهذه المركبات لها جزء طارد للماء Hydrophobic في الحامض الدهني الأساس وجزء جاذب للماء Hydrophilic في مجموعة الفوسفات. المركبات من هذا النوع مثل الليسثين Lecithin وفوسفاتديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine هي مركبات جوهرية للأغشية

الحيوية (أنظر 2.1.3).

المركب الأكبر أهمية والذي به مجموعات فوسفات تكون مرتبطة بروابط البيروفوسفات Pyrophosphate يكون أدينوسين ثلاثي الفوسفات adinosine tri phosphate (ATP). التركيب وبعض الصفات لهذا الأنزيم المساعد Coenzyme موجود في الجزء 3.1.3.

رابطة البيروفوسفات تكون رابطة غنية بالطاقة وعندما يتم التحلل مائياً تتحرر 30 كيلوجول / المول. الطاقة الممتصة خلال عملية البناء الضوئي أو المتحرر خلال عملية التنفس أو عند تكسير الكربوهيدرات لا هوائياً يكون استعمالها في تكوين رابطة البيروفوسفات في أدنوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). في هذه الصورة يمكن أن تنتقل الطاقة إلى عمليات حيوية مختلفة مثل الامتصاص النشط للأيون الحيوي وبناء المركبات المختلفة. يوجد في هذه العمليات عادةً تفاعل فسفرة ابتدائي. وهذه تضم نقل مجموعة الفسفرة من ادنوسين ثلاثي الفوسفات ATP إلى مركب آخر كما هو موضح في المثال التالي:



هذا التفاعل المركب المفسفر محملاً بالطاقة (التفاعل المشحونPriming reaction) وبذلك يكون مهيئاً للاشتراك في عمليات أيض أخرى.

إنه من الواضح أن وظيفة الفوسفات الوحيدة في الأيض هي تكوين روابط البيروفوسفات Pyrophosphate التي تسمح بانتقال الطاقة اليرويدين ثلاثي الفوسفات Uridine triphosphate (UTP) والسيتادين ثلاثي الفوسفات Cytidine triphosphate (CTP) وجوانوسين ثلاثي الفوسفات guanosine triphosphate (GTP) وهي مركبات مشابهة لمركب ادنوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) أن اليوريدين ثلاثي الفوسفات (UTP) يحتاج إليه في تكوين السكروز Sucrose والكالوز Callose و (CTP) في تكوين الدهون الفوسفاتية Phospholipids و (GTP) في تكوين السليولوز Cellulose. كل هذه المركبات النووية ثلاثية الفوسفات Nucleotide triphosphates (CTP, GTP, UT, ATP) تستخدم أيضاً في تكوين الأحماض النوورية الريبوزية ribonucleic acids(RNA) لتكوين أحماض نوورية للدوكسي ريبوز deoxyribonucleic acids (DNA) فهناك احتياج لصورة الدوكسي Deoxy للمركب النووي الثلاثي الفوسفات Nucleotide triphosphate. في تركيب الدوكسي يستبدل الريبوز النووي Ribose nucleotide بالدكسيريبوز Deoxyribose. التركيب لكل من الأحماض النوورية DNA و RNA موضحة في الشكل (5.9) مجموعة الفوسفات في الأحماض النوورية تربط الريبوز ribose (RNA) أو الدوكسبريبوز deoxyribose (DNA) مع ريبوز آخر أو دوكسيريبوز برابطتي إستر، الدوكسيريبوز هو الحامل للصفات الوراثية والأشكال المختلفة من الريبوز تكون وظيفتها تكوين البروتين، هذه

التفسيرات البسيطة عن الفوسفات العضوي على الدور الجوهري الشامل للفوسفات ليس في النباتات فقط لكن أيضاً في الأحياء الدقيقة الأخرى.

يعتبر الفيتين Phytin مركب فسفوري عضوي آخر يوجد في البذور وحامض الفتيك Phytic acid هو إستر سداسي الفوسفوريك للأنوسيتول Hexaphosphoric ester of inositol (أنظر التركيب في الجزء 2.1.9). يوجد الفيتين في البذور كأملاح كالسيوم وماغنسيوم لحامض الفيتيك ويتكون خلال تكون البذور. بعد التلقيح مباشرةً يكون زيادة في انتقال الفسفور للبذور الحديثة التكوين. الفسفور في فيتين البذور كفسفور مخزون. خلال إنبات البذور يكون فوسفور الفيتين متحرك ويتحول إلى أشكال أخرى من الفوسفات تحتاجها النباتات الحديثة في الأيض.

إن معظم الفوسفات الموجودة في الجذور والسيقان والأوراق تكون في صورة غير عضوية، أعلى نسبة للفسفور غير العضوي من الفسفور الكلي تكون في الأوراق القديمة. تحتوي الأوراق الحديثة كميات عالية نسبياً من الفسفور العضوي وغالباً في صورة أحماض نووية. محتويات الفسفور غير العضوي في أنسجة النبات ذات نقص الفسفور تكون منخفضة بينما مستويات الفسفور يكون تأثيرها طفيفاً (Hartt (1972), Michael (1939)). البيانات الرئيسية لبحث Michael مبينة في الجدول (2.9) ومن الواضح أن في أوراق السبانخ التي تعاني نقصاً في الفسفور فإن محتوى الفسفور غير العضوي كانت منخفضة بشدة في حين المحتويات للفسفور في الفسفور الدهني Phospholipids وفي الأحماض النووية لم يتأثر. لقد لوحظ نموذج مشابهة لمحتوى الفسفور في حبوب الشوفان Oat

مع استثناء فسفور الفيتين.

Fig.9.5 Section of DNA and RNA, showing the phosphate ester bond at C-3 and C-5 of the ribose or deoxyribose respectively.

الفسفور غير العضوي في أعضاء النباتات الخضراء هو صورة التخزين أما في البذور فتكون في صورة الفيتين. لقد بين Bieleski (1968) ملاحظات مشابهة عن دراسة التغيرات

في مستويات مركبات الفسفور في نبات اسبيرودلا Spirodela بعد توقف التزويد بالفوسفات، فعند نقص الفسفور الحاد انخفض المحتوى للفوسفات الدهني Phospholipids والريبوز RNA بشكل ملحوظ وقد أوضحت هذه الدراسة أيضاً أن معدل النمو للنباتات التي تعاني نقص الفسفور يتم التحكم فيه بالمعدل الذي كان عنده ينتقل الفوسفات من الفجوة الخلوية عندما ينفذ الفسفور المتحرك.

3.2.9 نقص الفسفور: Phosphorus deficiency

يحتاج انتقال الطاقة خارج الكلوربلاست Chloroplast إلى فوسفات غير عضوي كما تم وصفه في الجزء 3.3.4 ((Walker a (1980)).

تأثير الفوسفات المبدئي على نمو ذاتي التغذية Autotrophic growth يكون التوفير لإنتاج الطاقة الكيميائية في الكلوربلاست. تعتمد عمليات أيض عديدة على هذا التزود بالطاقة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، فتغذية الفوسفات غير الكافية قد تؤثر في عمليات مختلفة ومن ضمنها تمثيل البروتين والأحماض النووية. النباتات التي تعاني نقص الفسفور يكون نموها معوقاً ونسبة المجموع الخضري إلى المجموع البذري Shoots/Roots يكون منخفضاً للمادة الجافة وفي محاصيل تتأثر التفرعات الجانبية (الخلف). تبين أشجار الفاكهة التي تعاني من نقص الفسفور انخفاض معدلات النمو للأفرع الجديدة وكثيراً ما يكون التطور وتفتح البراعم غير مرضي. تنخفض إنتاجية الفاكهة والبذور في النباتات التي تعاني من نقص الفسفور إلى جانب ضعف الجودة في الفاكهة والبذور أيضاً.

تظهر أعراض نقص الفسفور عموماً على الأوراق القديمة التي تكون في كثير من

الأحيان ذات لون أخضر غامق. السيقان للكثير من النباتات الحولية التي تعاني من نقص الفسفور تكون مميزة بلون محمر ناتج من تحفيز تكوين مادة الأنثوسيانين Anthocyanine.

أوراق أشجار الفاكهة التي تعاني من نقص الفسفور تكون كثيراً مشوبة بلون بني ومثل هذه الأوراق تسقط قبل اكتمال نموها. حسب دراسة (1978) Besford على أوراق الخيار يمكن أن تستخدم نشاط أنزيم الفوسفايد Phosphatase كقياس حساس لحالة الفسفور وأن النشاط الأعلى قد وجد في الأوراق الضعيفة التزويد بالفسفور.

يكون محتوى الفسفور في النباتات التي تعاني من نقصه عامةً منخفضاً بنسبة حوالي 0.1 % فسفور أو أقل في المادة الجافة. أما محتوى الفسفور في محاصيل الحبوب وأعشاب المراعي المزودة بكميات كافية من الفوسفات يكون الفسفور حوالي 0.3-0.4 % في المادة الجافة خلال طور النمو الخضري. وعموماً فإن أعلى محتوى للفسفور يكون في النباتات الحديثة وأجزائها وهذا المحتوى يكون منخفضاً. في القش الناضج لمحاصيل الحبوب يكون محتوى الفسفور 0.1-0.15 % في المادة الجافة في حين وجد أن محتوى الفسفور في البذور والحبوب حوالي 0.4-0.5 % في المادة الجافة. هذا المثال يوضح أن خلال تكوين البذور والحبوب تنتقل كمية كبيرة من الفسفور من الأوراق والسيقان إلى البذور والحبوب.

تقلل مستويات الفوسفات العالية جداً النمو في الجذور. فقد وجد Loneragan and Asher (1967) في تجارب محلول مغذي أن معدلات امتصاص فوسفات عالية جداً كانت مرتبطة مع خفض معدلات النمو في بعض أنواع النباتات (العشب الفضي Silver grass والبرسيم Clover والايروديم Erodium). قد تعتمد مثل هذه التأثيرات على أن

الفوسفات يعوق الامتصاص والانتقال لبعض من المغذيات الصغرى Micronutrients مثل الزنك Zn والحديد Fe والنحاس Cu.

3.9 الفسفور في تغذية المحاصيل: Phosphorus in crop nutrition

1.3.9 تيسر الفسفور واحتياجات المحاصيل:

Phosphorus availability and crop requirements

منذ الأيام الأولى لاستخدام الأسمدة المعدنية على الترب كان دائماً التسميد بالفوسفات ذا أهمية. هناك في الواقع مساحات شاسعة من المحتمل أن نوعية تربتها تكون ضعيفة زراعياً بسبب نقص الفسفور. يجب أن يكون معروفاً أن فوسفات التربة يمكن أن يرجع بسرعة ليكون غير ميسر لجذور النبات وأن الفسفور يكون الأقل حركة من مغذيات النبات الرئيسية.

يستعمل المصطلح (الفوسفات المتيسر) غالباً للدلالة على جزء فسفور التربة الذي يمكن أن تستعمله النباتات. هذا المصطلح يكون غير واضح ومن المعتاد يرجع إلى طرق الاستخلاص من التربة التي هي عادةً تتباين، ومن الملاحظات الاستجابة للمحصول (أنظر 4.4) ((Werner (1960). من النقاش على فسفور التربة (أنظر 4.3.2) يكون من الواضح أن تيسر الفوسفات عموماً للنباتات يمكن أن يقيم بوساطة قياس تركيز الفوسفات في محلول التربة ومقدرة التربة للمحافظة على تركيز محلول التربة (القدرة التنظيمية للفوسفات Phosphates buffer capacity). تراكيز الفوسفات بحوالي 10^{-4} مول في محلول التربة تعتبر مرتفعة وتمثل مستوى عالياً من تيسر فوسفات التربة. تراكيز الفوسفات التي تصل حوالي

10^{-6} مول في محلول التربة تكون عموماً منخفضة جداً لتزويد المحاصيل بالفسفور الكافي. تراكيز الفوسفات الأمثل في محلول التربة من المحتمل اختلافها فيما بين المحاصيل وأنظمة الزراعة والمواقع الزراعية.

كمية الفسفور الموجودة في محلول التربة حتى في الترب التي فيها مستويات عالية من الفسفور المتيسر تكون في مدى 0.3-3 كيلوجرام فسفور/الهكتار. تمتص المحاصيل كميات من الفوسفات أثناء النمو السريع تصل إلى حوالي 1 كيلوجرام/هكتار/اليوم. وهذا يوضح أن فوسفات محلول التربة يجب أن يزود عدة مرات في اليوم عن طريق تحريك الفوسفات من الفوسفات المتغير الذي يكون مطابقاً زيادة أو نقصاً مع نظيره الفوسفات المتبادل Isotopicully exchangeable Phosphate (أنظر 5.4.2). الكمية لهذا الجزء توجد في الطبقة السطحية (20سم) وتكون في مدى 150–500 كيلوجرام فسفور/هـ. معدل الامتصاص يكون عالياً في الترب التي بها قدرة تنظيمية للفسفور Phosphates buffer capacity. لهذا السبب فمصل هذه الترب تكون ذات قدرة أفضل لمقاومة تغير تركيز الفوسفات في محلول التربة خلال موسم النمو ((Williams (1970)). حسب بيانات تجارب Olsen and Watanabe (1970) أن تركيز الفسفور في محلول التربة وقدرة الفوسفات لمقاومة التغير تكون أكثر أهمية للتحكم في تنظيم تزويد جذور النبات بالفوسفات. لهذا فالتركيز الأمثل للفسفور في محلول التربة ربما يكون منخفضاً إذا كانت قدرة الفوسفات لمقاومة التغيير عالية والعكس صحيح. هذه العلاقة قد أثبتت بواسطة بحوث Holford (1976) الذي حسب احتياجات التسميد بالفسفور بالعلاقة مع تركيز الفسفور في محلول التربة وقدرة

الفوسفات لمقاومة التغيير.

الترب التي تميل إلى تثبيت قوى للفوسفات (إدمصاص بالسيكا أوكسيدات Sesquioxides ومعادن الطين) دائماً تحتاج إلى تسميد عالٍ جداً بالفوسفات من أجل تخفيف تأثير التثبيت. يجب إضافة معدلات عالية على نحو متزايد عندما يكون منحنى مقاومة تغير الفوسفات شديد الانحدار. ينصح في هذه الترب المثبتة للفوسفات بقوة بتصحيح الرقم الهيدروجيني طالما أن إدمصاص الفوسفات يكون عالٍ عند المستويات المنخفضة للرقم الهيدروجيني (أنظر 2.1.9). إذا كانت الكمية لفوسفات التربة المتيسر في المعدل الطبيعي فإن معدل الإضافة المطلوب يجب أن يتوافق مع كمية الفسفور المزالة بواسطة المحصول. عندما يكون بعض الفوسفات المتغير مذاب غير متحرك فإن معدلات إضافة الفسفور يجب أن تكون حوالي 10–50 % أعلى من كمية الفسفور التي امتصها المحصول (أنظر الجدول (2.6)). معدلات الإضافة عموماً للمحاصيل الزراعية حوالي 20 – 80 كيلوجرام فسفور/هـ وذلك حسب أنواع المحصول وظروف التربة. تنتج كميات كبيرة من المواد العضوية من المحاصيل ذات معدل النمو العالي واحتياجاتها عالية كذلك مثل الإضافات للذرة والصفصفة وإنتاج العشب والبطاطس وبنجر السكر، بالإضافة إلى أنظمة الزراعة المكثفة التي تحتاج إلى كميات كبيرة من الفوسفات. يكون الفسفور مهم على الأخص للبقوليات لإمكانية تأثيره على نشاط بكتيريا الريزبيوم Rhizobium bacteria فمن الأهمية وجوب المحافظة على مستويات فسفور التربة عالية لزراعة خليط من العشب من أجل المحافظة على أنواع البقوليات. إذا كان استخدام فسفور لمحاصيل الحبوب غير كافٍ خلال الأطوار الأولى

للنمو فسينتج عنه انخفاض في عدد السنابل في وحدة المساحة وبذلك ينخفض الإنتاج.

نقص الفسفور في أشجار الفاكهة ينتج عنه تشوه الثمار. يتأثر تطور الثمار وغالباً تكون الثمار صغيرة ومتدنية الجودة. بالإضافة إلى تأخر نضج الثمار (Penningsfeld and Kurzmann (1966/67) إضافة قدر يكفي من الفوسفات إلى البطاطس يحفز أسترة النشا في الدرنات وبذلك يحسن جودة النشا (أنظر2.3.5).

2.3.9 الأسمدة الفوسفاتية Phosphatic fertilizers

تختلف أسمدة الفوسفات المستخدمة في الوقت الحاضر في التركيب الكيميائي والإذابة كما هو موضح في الجدول (3.9). ينتج السوبرفوسفات بمعالجة الصخور الفوسفاتية مع حامض الكبريتيك والناتج يكون خليط من فوسفات الكالسيوم $Ca(H_2PO_4)_2$ والجبس ($CaSO_4$)) يستخدم حامض الفوسفوريك في مصنع السوبرفوسفات الثلاثي بدلاً من حامض الكبريتيك والناتج يكون فوسفات الكالسيوم.

Table 9.3 Straight Phosphate Fertilizers

Name	Chemical composition	Solubility	Content of P_2O_5
Superphosphate	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaSO_4$	water sol.	18–22
Triple superphosphate	$Ca(H_2PO_4)_2$	water sol.	46–47
Monoammonium phosphate	$NH_4H_2PO_4$	water sol.	48–50
Diammonium phosphate	$(NH_4)_2HPO_4$	water sol.	54
Basic slag (Thomas slag)	$Ca_3P_2O_8 \cdot CaO + CaO \cdot SiO_2$	citric acid sol.	10–22%
Sinterphosphate (Rhenania-type)	$CaNaPO_4 \cdot Ca_2SiO_4$	NH_4 citrate sol.	25–29%
Ground rock phosphate	Apatite	soluble in	29%
Fused Mg phosphate	Ca-Mg phosphate	citric acid	20%

بإضافة الأمونيا NH_3 إلى حامض الفوسفوريك تصنع فوسفات الأمونيوم الأحادية

والثنائية. ناتج صناعة الحديد والصلب تكون بقايا خام الفسفور Basic slags ($Ca_3(PO_4)_2.CaO+CaO.SiO_2$). يكون في هذه العملية منشأ الفسفور من الخام المرتبط مع أكسيد الكالسيوم CaO والسيليكات خلال عملية الصهر ولهذا السبب تحتوي البقايا الأساسية أيضاً على كالسيوم كالكسيد والسيليكات بالإضافة إلى وجود الماغنيسوم وبعض المعادن الثقيلة (Cu,Zn,Fe). ينتج الفوسفات المترسب Sintered Phosphate (نوع رينانيا Rhenania-type) بوساطة تفاعل صخور الفوسفات مع كربونات الصوديوم Na_2CO_3 والسيليكا في فرن دوراني Rotary Kiln عند درجة حرارة حوالي 1250مْ. التركيب الرئيسي لهذا السماد الفسفوري تكون فوسفات الصوديوم –كالسيوم $CaNaPO_4$ وسيليكات الكالسيوم Ca_2SiO_4 في مخلوط بلوري التركيب. هناك أسمدة متطورة حديثة تعتمد على حامض السوبرفوسفوريك Super Phosphoric acid (متعدد الفوسفات Polyphosphates) فقد أدرجت في الجزء 3.2.6.

بقايا الفسفور الخام والأسمدة الذائبة في الماء والفوسفات المترسبة تكون أسمدة فوسفور ملائمة لمعظم الترب. تختلف صخور الفوسفات كثيراً في قيمتها السمادية وبهذا تعتمد على مصدرها. فالاباتيت البلوري الصلب غير ذائب وبذلك لا يكون مفيداً كمادة أسمدة.

يمكن استعمال صخور الفوسفات اللينة من شمال أفريقيا أو أماكن أخرى كأسمدة تحت ظروف خاصة. في عدة تجارب حقلية في بريطانيا أعطت دليلاً بأن صخور الفوسفات تجعل المحصول يعطي استجابات مرضية على الترب الحامضية خاصةً عندما أضيف إلى أرض

العشب والروتناج Swedes والكرنب Kale ((Cooke (1966). قد كان تأثير بقايا صخور الفوسفات أقل من تأثير أسمدة الفسفور العالية الذوبان. لقد أجرى Van Der Peauw (1965) تجارب حقلية على ترب رملية عضوية في "هولندا" ووضح أن القيمة لفوسفات قفسا Gafsa (صخور فوسفات لينة) تختلف بدرجة كبيرة وكانت أقل قيمة على الترب ذات القدرة العالية لتثبيت الفسفور.

يعتمد تأثير الفسفور لهذا السماد على مدى زيادة إضافة الفوسفات الذائب في الماء إلى التربة. كانت صخور الفوسفات فعالة خاصةً على الترب ذات الرقم الهيدروجيني الأقل من 4.3 نتائج مشابهة بينها Schüller et al. (1975) من تجربة امتدت لفترة طويلة في النمسا قد أعطت إضافة صخور الفوسفات في الترب الحامضية (PH=5.5) إنتاجاً متساوياً مع إضافة سماد سوبرفوسفات. كانت نتائج معاملة صخور الفوسفات في الموقعين الآخرين (PH6.6, 7.3) حوالي 20–40% أقل من معاملة السوبرفوسفات.

عندما يصبح الفوسفات الذائب سهل الغسيل من الترب الرملية الحامضية تحت الظروف الاستوائية تكون إضافة صخور الفوسفات ذات فائدة.

لقد أوضحت تجارب في هاواي Hawai على قصب السكر بأن صخور الفوسفات كانت فعالة مثلها في ذلك السوبرفوسفات ((Ayres and Hagihara (1961). لقد لوحظت تأثيرات إيجابية لصخور الفوسفات على نمو القمح وفول الصويا والذرة في الهند ((Mandal (1975). وجد Maloth and Prasad (1976) عند زراعة لوبيا (Vigna sinensis) على تربة قلوية (PH8.4) بأن 200 كيلوجرام P_2O_5/هـ في صورة صخور

فوسفات أعطت نفس الزيادة في الإنتاج مثل إضافة 100 كيلوجرامP_2O_5 /هـ في صورة سوبرفوسفات. لم توجد استجابة في محاصيل الحبوب على نفس هذه التربة باستخدام الصخور الفوسفاتية وهذا يدل على أن تأثير هذا السماد يعتمد على أنواع المحاصيل. حسب Khasawneh and Doll (1978) في التساؤل عن المعاملة بصخور الفوسفات في مراجعة لبحوث سابقة، فقد تبين أن الاختلاف في استجابة المحاصيل تكون ذات علاقة باحتياج المحصول للكالسيوم Ca^{+2}. هناك أنواع احتياجاتها مرتفعة من الكالسيوم تحفز إذابة صخور الفوسفات كما أنها تمثل المستهلك للكالسيوم، وبالمقارنة بالترب ذات إمكانية إدمصاص عالية للكالسيوم يفضل صخور الفوسفات المذابة. هناك محاصيل ذات كفاءة عالية في باستخدام صخور الفوسفات مثل اللوبيا والقمح ومعظم محاصيل الحبوب تكون أقل كفاءة في استعمال صخور الفوسفات. الإضافة الاقتصادية لصخور الفوسفات الحامضية جزئياً Partially acidulated تكون محدودة في الترب المنخفضة الرقم الهيدروجيني. يدل المصطلح حامضية جزئياً على أن جزء من مجموع سماد الفوسفات يكون مذاباً في الماء والباقي يكون بالدرجة الأولى الاباتيت Aptite الذي يكون ذائباً إذا كان الرقم الهيدروجيني للتربة منخفضاً بدرجة كافية.

لذلك سيكون من الصعب تيسر جزء الاباتيت من السماد الحامض للنبات بالترب ذات تفاعلات حامضية طفيفة أو متعادلة. لقد بين Terman et al. (1964) أن استجابة الإنتاج للمواد الحامضية جزئياً تواكب نسبة إذابة الفوسفات. نتائج مشابهة تحصل عليها Hammond etal. (1980) من تجارب على الذرة في الصوبة فلقد وجدوا أن على تربة لوم

سلتيه Silt Loam Soil معدل رقمها الهيدروجيني 4.8–5.4 مع صخور فوسفات حامضية جزئياً كانت أفضل من صخور الفوسفات غير الحامضية لكنها أقل من السوبرفوسفات أو السوبرفوسفات الثلاثي.

بالرغم أن إذابة الفوسفات في مركبات الأسمدة المختلفة لا تختلف بدرجة كبيرة كما في أسمدة الفوسفات الصرفة، فهناك تكون اختلافات في إذابة وفاعلية الفوسفات. تصبح هذه على الأخص واضحة عندما تضاف مركبات أسمدة محتوية على فوسفات لترب منخفضة المستوى في الفوسفات.

فقد استنتج Mahapatra et al. (1973) من تجارب حقلية في الهند أن الاستجابة للفسفور كانت الأعلى مع السوبرفوسفات ثم النيتروفوسفات ODDA nitrophosphate وتبع بالأقل وهو PEC ثيروفوسفات PEC nitrophosphate. الرموز ODDA و PEC ترجع إلى اختلاف التقنية في عملية التصنيع التي ينتج منها النيتروفوسفات، للمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل بنجر السكر يكون النيتروفوسفات مساوياً لجودة السوبرفوسفات وفي ترب الصخور الحمراء المسامية الحامضية كان النيتروفوسفات أفضل مع السوبرفوسفات.

يعتمد سلوك سماد الفسفور في التربة على التركيب الكيميائي للسماد. تتفاعل أسمدة الفوسفات القابلة للذوبان في الماء مثل السوبرفوسفات بسرعة مع الكالسيوم Ca^{+2} الذي يكون موجوداً بكميات غزيرة في معظم الترب وفي هذا التفاعل يتكون فوسفات الكالسيوم $Ca_5(PO4)_2$ غير الذائبة.

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca^{2+} \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 4H^+$$

يتكون فوسفات الكالسيوم الثلاثي في الترب الكلسية:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2\ CaCO_3 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2\ H_2O + 2CO_2$$

من السهل إدمصاص فوسفات $H_2PO^-_4$ السوبرفوسفات بمعادن الطين في الترب الأكثر حامضية وهذه التفاعلات تحدث بسرعة عندما يضاف السوبرفوسفات على شكل مسحوق والالتصاق السطحي بين السماد والتربة يكون عالياً. لهذا السبب فإن السوبرفوسفات ومعظم أسمدة الفوسفات القابلة للذوبان في الماء تضاف على شكل حبيبات.

التركيب البلوري لبقايا الفوسفات الخام Basic slags تكون معقدة وهذه المادة شبه المستقرة Metastable وتزداد في الذوبان كلما زاد الالتصاق السطحي بينها وبين التربة. لذلك فبقايا الفوسفات الخام تكون أكثر ذوباناً على شكل مسحوق من أن تكون على شكل حبيبات وبالمثل ينطبق على صخور الفوسفات والفوسفات المترسب.

3.3.9 إضافة الفوسفات Phosphate application

يعتمد امتصاص فسفور السماد كثيراً على نمو الجذور بسبب أن حركة الفوسفات في التربة منخفضاً نسبياً. لقد بين (1969) Paye and Gerwitz في نتائج امتصاص فوسفات نظير Labelled أضيفت لأعماق مختلفة في التربة، وقد وجد أن الخس Letluce امتص الفوسفات أساساً من الطبقة السطحية للتربة (0 – 18سم) في حين أن الجزر امتص كمية كبيرة من 30–40سم عمق. في هذا المحصول تم امتصاص 10% من الفوسفات مبدئياً من تربة أعمق من 100سم. من هذه النتائج يمكن ملاحظة أن من الأهمية خلط أسمدة

الفسفور في التربة وهذه تكون حالة خاصة عند استخدام فوسفات منخفض الذوبان في الماء. إضافة السماد الفسفوري في منطقة الجذور يكون أفضل في الترب ذات الفسفور الميسر المنخفض جداً من إضافة النثر على التربة. وضع سماد الفسفور في منطقة الجذور يضمن أن تركيزاً مرتفعاً من السماد يصبح في التصاق مع حجم كبير من التربة. لذلك فالسماد يكون قادراً على تشبع السعة الإدمصاصية لفوسفات التربة لدرجة عالية وتركيز الفوسفات في محلول التربة يكون أعلى في منطقة وضعه التأثير الإيجابي لطرق الوضع مقارنةً بمعاملات النثر بينها عدد من الباحثين Reith (1972), Ryenk (1962), Locascio et al. (1960), Prummel (1957))؛ أنظر (4.2.6)

يمكن إضافة أسمدة الفسفور في أي وقت من السنة باستثناء صخور الفوسفات التي يجب إضافتها في الخريف إلى التربة التي سعتها لتثبيت الفوسفات ليست عالية بدرجة كبيرة. في هذه الحالة يفضل إضافة الفوسفات الذائبة في الماء في الربيع لخفض تثبيت فسفور السماد إلى الحد الأدنى ليسمح للنبات بأفضل فرصة لمنافسة التربة لاستعمال واستهلاك الفسفور.

إضافة الفوسفات تكون كل سنتين في الترب التي يكون فيها مستويات الفوسفات المتيسر كافية لتجنب المجازفة لخفض الإنتاج ((Prausse (1968)). معدل الفوسفات المضاف يجب أن يكون بنفس المقدار المطابق لمجموع إضافة معاملتين. يجب أن تأخذ في الاعتبار كل المعاملات لأسمدة الفسفور والاحتياجات المرتفعة نسبياً لمعظم المحاصيل في أطوار النمو المبكر. (أنظر الجدول (12.2)).

بهذا السبب لا يوجد أي خوف من فقدان فسفور السماد بالغسيل في أي وقت

من السنة يضاف فيها الفوسفات للترب المعدنية. لوحظ في الترب العضوية أن فسفور السماد قد تحرك في طبقات تربة أعمق ((Munk (1972).

قراءات عامة

General Reading

BLAIR, GJ. (Ed): Prospects for Improving Efficiency of Phosphorus Utilization. Reviews in Science 3. University of New England. Armidale, N.S.W. Australia, 1976.

DALAL, R.C.: Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29, 83 - 117 (1977).

KHASAWNEH, F.E. and DOLL, E.C.: The use of phosphate rock for direct applications to soils. Adv. Agron. 30, 159-206 (1978).

KHASAWNEH, F.E., SAMPLE E.C. and KAMPRATH, E.J. (Eds): The Role of Phosphorus in Agriculture. Amer. Soc. Agron. Madison, 1980.

LARSEN, S.: Soil phosphorus. Adv. in Agron., 19, 151-206 (1967).

LOUGHMAN, B.C.: Metabolic factors and the utilization of phosphorus by plants. In: Phosphorus in the Environment: its Chemistry and Biochemistry. p. 155-174. CIBA Foundation Symposium 57, Elsevier/North Holland, 1978.

MANDAL, S. c.: Phosphorus management of our soils. Need for a more rational approach. 40th Sess. Indian Soc. of Soil Sci., Bhubaneswar (1975).

PARFIIT, R.L.: Anion adsorption by soils and soil material. Adv. Agron. 30, I-50 (1978).

TINKER, P.B.: Soil chemistry of phosphorus and mycorrhizal effects on plant growth In: Endomycorrhizas, SANDERS, F.E., MOSSE, B. and TINKER, P.B. (eds.), p. 353-371. Academic Press, London, New York (1975).

WILLIAMS E. G.: Factors affecting the availability of soil phosphate and efficiency of phosphatc fertilizers. Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Research on the use of Mineral f'ertilizers, Moscow 1970. (see Macaulay lnstitute Ann. Report, 1969/70. Macaulay Inst. for Soils, Craigie buckler, Aberdeen, Scotland).

الفصل العاشر

البوتاسيوم

1.10 بوتاسيوم التربة: Soil Potassium

1.1.10 معادن البوتاسيوم وتحرر البوتاسيوم:

Potassium minterals and Potassium release

إن متوسط احتواء قشرة الأرض على البوتاسيوم حوالي 2.3% الجزء الأكبر من هذا البوتاسيوم يكون مرتبطاً في المعادن الأولية أو يكون موجوداً في معادن الطين الثانوية التي تشكل الجزء الطيني للتربة والتي تكون بحجم حبيبات أقل من 2 ميكرون (µm2). لهذا السبب فالترب الغنية بالطين عموماً تكون أيضاً غنية بالبوتاسيوم ((Acquaue et al. (1967 و Gardner (1967) و Kaila (1967)) والترب الطينية قد يكون بها أغلب الأحيان البوتاسيوم الكلي أكثر من 4 %. يعتمد محتوى التربة من الطين لحدٍ ما على مادة الأصل لكن يكون متأثراً بدرجة كبيرة بعملية تكوين التربة Pedogenesis. الترب المتطورة التي تعرضت لظروف تجوية قوية تكون أكثر الأحيان منخفضة في محتواها من الطين والبوتاسيوم. أما الترب الرملية ذات التجوية العالية تكون متباينة بوضوح مع الترب الحديثة المشتقة من المادة البركانية التي يكون محتواها عموماً مرتفعاً من الطين والبوتاسيوم (Graham and Fox (1971)).

في بحث مكثف لمقارنة أكثر من 1000 موقع في وسط أوروبا فقد وجد Laves (1978) أن التربة المحتوية على البوتاسيوم ذات علاقة وطيدة بمحتوى الأليت Illites وكلوريت الألومنيوم Al-Chlovites وبدرجة أقل بمحتوى السمكتيت Smectites. يرتبط أعلى محتوى كلوريت وأليت مع المستويات المنخفضة للسمكتيت وقد وجدت في الترب البنية

في المناطق الجبلية وعلى العكس منذ ذلك فالترب الطميية Alluvial Soils يسود فيها السمكتيت. تتخذ الترب الطينية Loess Soils موقعاً متوسطاً Intermediati. تكون الترب العضوية منخفضة كثيراً في محتوى الطين والبوتاسيوم. إن مستوى البوتاسيوم في الترب العضوية يكون حوالي 0.03% رغم أن هذا قد يختلف لحد ما يبن أنواع الترب العضوية ((Baden (1965). تحت الظروف الطبيعية فإن مصدر البوتاسيوم K^+ الرئيسي لنمو النباتات يأتي من التجوية للمعادن المحتوية عليه وأهم هذه المعادن تكون مدرجة في الجدول (1.10). يوجد البوتاسيوم في فلدسبار البوتاش Potash feldspars في صدوع Interstices الشبكة البلورية للسليكون Si والألمنيوم- أكسجين Al-O وتماسك بشدة بروابط تساهمية ((Rich (1968). تبدأ تجوية الفلدسبار عند سطح الحبيبة ويتحرر البوتاسيوم مبدئياً بوساطة الماء والأحماض الضعيفة بمعدل سريع أكثر من المكونات الأخرى. عندما تتقدم التجوية يتكون غلاف البقايا من السيلكون- الألمنيوم- الأكسجين Si-Al-O حول المعدن الذي لم تحدث له تجوية Unaeatheed وهذا الغلاف يخفض معدل فقدان البوتاسيوم من المعدن وبذلك يحميه من تحلل إضافي مكثف ((Rich (1972). تختلف معادن الميكا Mica والمعادن الثانوية من نوع 1:2 للسيليكات أساساً في التركيب عن الفلدسبار ولهذا السبب فإنها تختلف في خاصيتها لتحرر وربط البوتاسيوم K^+. تتكون معادن الميكا من وحدة من الطبقات يتألف كل منها من صفيحتين رباعية الأوجه للسيليكون والميثوم – أكسجين Si-Al-O tetrahydral بينها صفيحة ثمانية الأوجه M-O و OH (Ocyahedra) حيث أن M تعني الألمنيوم AL^{+3} والحديد Fe^{+3} أو الماغنيسوم Mg^{+2}.

Table 10.1 Potassium content of some primary and secondary clay minerals (SCHEFFER and SCHACHTSCHABEL [1976])

	content in % K_2O
Alkali feldspars	4–15
Ca-Na feldspars	0– 3
Muscovite (K mica)	7–11
Biotite (Mg mica)	6–10
Illite	4– 7
Vermiculite	0– 2
Chlorite	0– 1
Montmorillonite	0– 0.5

تشغل أيونات البوتاسيوم الفراغات السداسية تقريباً بين وحدة الطبقات ونتيجة لذلك فوحدة المسافة بين الطبقات تكون صغيرة نسبياً فمثلاً تكون 1.0 نومتر (nm) في الميكا. الاحنلال اللبوتاسيوم K^+ غير المتميء Non hydrated فيما بين الطبقات بوساطة أنواع الكاتيونات المتميأة مثل الصوديوم Na^+ والماغنيسوم Mg^{+2} أو الكالسيوم Ca^{+2} بتمددات المعدن مع زيادة في المسافة بين وحدة الطبقات أي تصل إلى 1.4 نانومتر (nm) في الفيرمكيوليت Vermiculite (أنظر الشكل (1.10)).

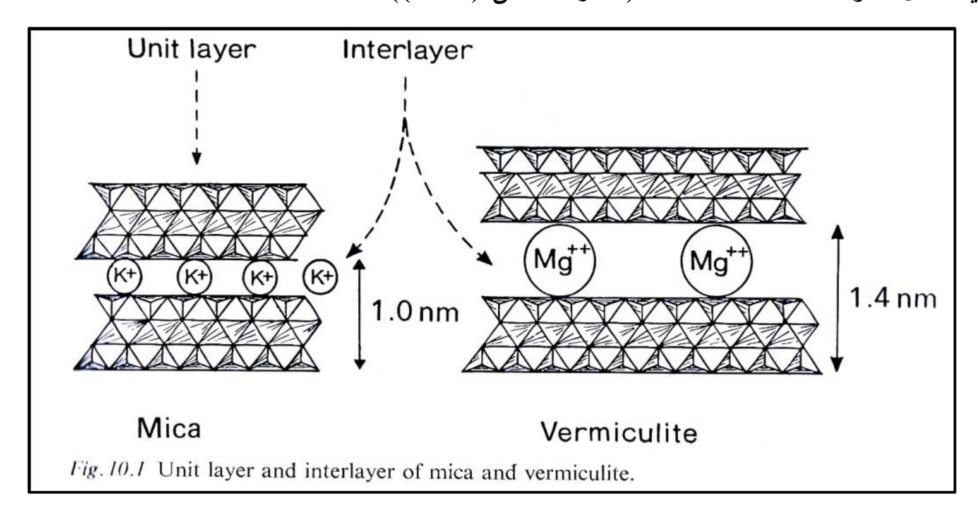


Fig. 10.1 Unit layer and interlayer of mica and vermiculite.

يكون البوتاسيوم للصفيحة المعدنية عموماً سريع التأثير للتجوية ويمكن أن تنتشر خارج المعدن للتبادل مع أنواع الكاتيونات الأخرى.

ارتفاع تركيز أيون الهيدروجين وانخفاض تركيز أيون البوتاسيوم في الوسط يسهل تحرر أيون البوتاسيوم غير التبادلي (أيون البوتاسيوم للطبقات البينية K^+ Interlayer) (Newman 1969). انطلاق أيون البوتاسيوم كما ذكر V.Reichenbach (1972) هو عملية تبادل مرتبطة بالانتشار والتي فيها يمتص أيون البوتاسيوم في مواقع (i) I-Positions لمنطقة الطبقات البينية ويستبدل أنواع أخرى من الكاتيونات. إذا كان الاستبدال بأنواع تكون كبيرة مثل الصوديوم Na^+ والماغنيسيوم Mg^{+2} والكالسيوم Ca^{+2} عليه فتبادل أيون البوتاسيوم ينتج عنه تمدد لمعدن الطين وتتكون منطقة وتدية Wedge (أنظر الشكل (2.10)).

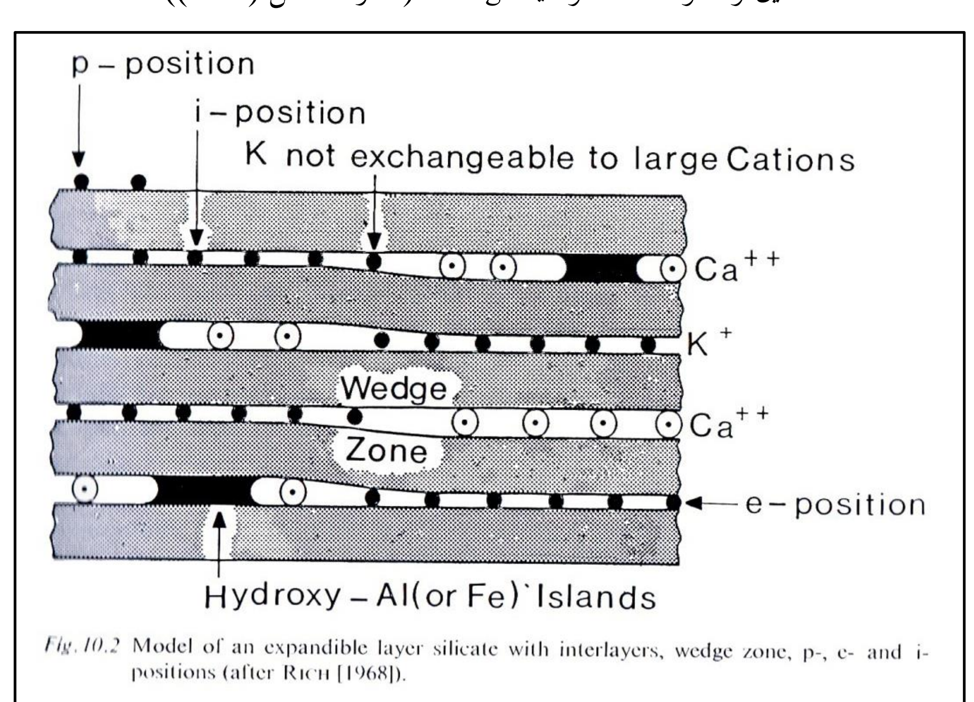


Fig. 10.2 Model of an expandible layer silicate with interlayers, wedge zone, p-, e- and i-positions (after RICH [1968]).

ينتج من تحلل السيليكات تكوين الحافة الضعيفة Frayed edge أو المنطقة الوتدية وهي نموذج لتجوية الميكا يتبعه تحرر أيون البوتاسيوم للطبقات البينية ((Rich (1968). يسهل انتشار أيون البوتاسيوم K^+ المستبدل خارج المعدن نتيجة توسيع الثغرة بين طبقتي المعدن. فقد أوضح كل من Jackson and During (1979) أن معاملة التربة بأيون الكالسيوم Ca^{+2} نتج عنه تمدد معدن الطين وزاد تحرر أيون البوتاسيوم. حسب Farmer and Wilson (1970) هذا النوع من التجوية يحول الميكا إلى معدن طين 1:2 ثانوية وإليت Illite وفيرميكيوليت Vermiculite وسلسلة التفاعل كما يلي:

ميكا (10% بوتاسيوم K) ← ميكا متميئة (6–8% K) ← إليت (4–6% K) ← معادن انتقالية (3% K) ← فيرميكيوليت أو مونتموريلويت Montmorillonite (أقل من 2% K) ((Schroeder (1976).

لا يعتمد معدل تحرر أيون البوتاسيوم بالتجوية فقط على محتوى معدن معين على البوتاسيوم لكنه يتأثر أيضاً بالاختلافات البسيطة فيما بين تركيب المعادن، لذلك فمعدن البيوتيت المحتوي حديد–ماغنيسوم Ferromagnesiam رغم أنه أقل في محتوى البوتاسيوم من المسكوفيت فإنه يحرر بوتاسيوم بمعدل أسرع لأن تجويته تكون سريعة. هذا يكون صحيحاً مع فلدسبار الكالسيوم الذي يتحلل بمعدل أعلى من فلدسبار البوتاسيوم ((Duthion (1966). حسب Rich (1968) فإن الاليت والمعادن الأخرى 1:2 التي تحتوي على ميكا مثل الأحزمة تكون أهم مصادر البوتاسيوم في الترب.

2.1.10 تثبيت البوتاسيوم Potassium fixation

كلما استمر استنزاف البوتاسيوم من الطبقات البينية للمعادن فإن معدل تحرره يصبح بطيئاً تدريجياً. تصبح مواقع الطبقات البينية مستنزفة من أيون البوتاسيوم K^+ بالرغم من احتفاظها بانتقائية Selectivity عالية للبوتاسيوم بالعلاقة بالأيونات الثنائية التكافؤ ((Raman and Jackson (1964). ينتج عن إضافة البوتاسيوم إلى مثل هذه المعادن إدمصاص قوى للبوتاسيوم على تلك المواقع مسبباً تقلص المعدن (Grahan and Lopez (1969)). تسمى هذه العملية بعملية تثبيت البوتاسيوم K^+-Fixation ينتج التقلص عن تناقص في وحدة المسافة بحوالي 1 نانومتر (nm1). تتميز أحزمة تركيب الفرميكيوليت في البيوتيت والمسكوفيت الَّذين تمت تجويتهما بمسافة للطبقة حوالي 1.4 نانومتر وبذلك فإنها تستعيد فراغ الميكا البالغ حوالي 1 نانومتر عندما عومل بالبوتاسيوم (أنظر الشكل (1.10)).

تعتمد درجة التثبيت التي يصل إليها البوتاسيوم على عدد من العوامل منها كثافة الشحنة للمعدن ومدى توسع المنطقة الوتدية والمحتوى الرطوبي وتركيز البوتاسيوم وطبيعة وتركيز الكاتيونات المنافسة في الوسط المحيط. يميل التثبيت ليكون عالياً عندما تكون الشحنة السالبة في وحدة طبقة السيليكات عالية (كثافة الشحنة) وعند حدوث هذا فإن أيونات البوتاسيوم الموجبة ستتحد بقوة بواسطة شحنات الطبقات السالبة. يمكن أن تثبت كميات قليلة من البوتاسيوم إذا اقتصرت المنطقة الوتدية على حواف الحبيبات فقط لكن إذا أصبحت الطبقة أعمق داخل المعدن فإن كمية كبيرة من البوتاسيوم يمكن أن تحجز بعض المعادن التي تمت تجويتها مثل الميكا والفرميكيوليت والأليت تثبت البوتاسيوم تحت الظروف

الجافة والرطبة بينما يثبت السمكتيت البوتاسيوم تحت الظروف الجافة، لهذا السبب فالتثبيت يكون أعلى كثيراً في ظروف الترب الجافة عنه في الظروف الرطبة ((Schroeder (1955)). بما أن قطر أيون الأمونيوم NH^{+}_{4} مماثل جداً لأيون البوتاسيوم فهذا يمكنه أن يثبت في المعادن الطينية 1:2 ((Bartlett and Simpson (1967)).

يتبادل الأمونيوم مع البوتاسيوم المثبت ونفس الشيء يكون صحيحاً للهيدروجين ((Rich and Black (1964)). لذلك يمكن أن يتنافس الأمونيوم والهيدروجين مع أيون البوتاسيوم على روابط مواقع التثبيت وهذا عموماً يعني أن تثبيت البوتاسيوم ليس مهماً في عرقلة تيسر البوتاسيوم للنباتات في الترب الحامضية ($PH4 < 5.$) كما هو الحال في الترب الزراعية المضاف لها الجبس. إن قوة التثبيت للمعادن الطينية 1:2 يتبع دائماً هذا الترتيب وأن الفرميكيوليت أكبر من الأليت الذي هو أكبر من السمكتيت.

تثبيت البوتاسيوم يكون ذا أهمية كبيرة في التطبيقات الزراعية (أنظر 2.3.10)، وبهذه الطريقة تصبح كميات السماد البوتاسي غير المتيسر عالية جداً. تكون سعة البوتاسيوم عموماً عالية في طبقات التربة العميقة بسبب ارتفاع محتواها من الطين. لقد وجد Arifin et al. (1973) أن مستويات تثبيت البوتاسيوم مرتفعة وتصل إلى حوالي 1000–2000 مليجرام بوتاسيوم / 100 جرام طين في الأفق B في الترب الزراعية الهامة في المنطقة الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية.

3.1.10 إدمصاص البوتاسيوم وحركته: Potassium adsorption and mobility

محتوى طين التربة لا يكون فقط مهماً لتحرر وتثبيت البوتاسيوم بل يؤثر أيضاً

بدرجة كبيرة على حركة البوتاسيوم في التربة. تدمص معادن الطين أيونات البوتاسيوم بمواقع الربط التي تكون مختلفة في الانتقاء. وجد ثلاثة مواقع ادمصاص على معادن الطين 1:2 من الأليت والفيرميكيوليت والميكا يمكن تمييزها بعد تجويتها (الشكل (1.10)) (Schouwenbury and Schuffelen (1963)) وهي مواقع عند الأسطح المستوية (موقع P) ومواقع عند حواف الطبقات (موقع e) ومواقع في الفراغ البيني للطبقات (موقع i). تختلف نوعية مواقع الربط الثلاثة للبوتاسيوم أختلافاً كبيراً ((Beckett and Mafady (1967) و ((Ehlerss et al. (1967)). كما تقدم في الصفحة السابقة فإن هذه النوعية لربط البوتاسيوم بالعلاقة مع الكاتيونات الأخرى ويمكن التعبير عنها بمصطلح كمي وهو معامل جابون Gapon Coefficient الذي يكون عالياً عندما تكون نوعية ربط موقع البوتاسيوم عالية. حسب (1971) Schffelen فمواقع الربط للبوتاسيوم الثلاثة للأليت لها معاملات جابون التالية:

موقع P : 2.21 (مليمول /لتر) $^{-1/2}$

موقع e : 102 (مليمول /لتر) $^{-1/2}$

موقع i : مالانهاية (مليمول /لتر) $^{-1/2}$

يمكن حساب معامل جابون بالتركيز بالمول أو المليمول ولما كانت القيم تختلف للاثنين (المول والمليمول) فالوحدات يجب أن توضع أمام التركيب دائماً. المعاملات المبينة أعلاه تكون على أساساً التركيزات المليمول وهي لتبادل البوتاسيوم /الماغنيسيوم $^{K}/_{Mg}$ لذا فمقارنة نوعية ربط الموقع للبوتاسيوم مع نوعية ربط الموقع للماغنيسوم. وقد بين Duthion

(1966) قيماً من نفس القدرة والدرجة لنسبة $_{الكالسيوم}$/^{البوتاسيوم} التبادلية. توضح الاختلافات الكبيرة فيما بين معامل جابون لمواقع ربط البوتاسيوم الثلاثة ضخامة المسافة بين المواقع الانتقائية للبوتاسيوم. إن انتقائية ربط البوتاسيوم بالمادة العضوية وطين الكؤلنيت Kaolinite تكون مماثلة لربط مواقع P ((Ehlers et al. (1968). يكون ربط البوتاسيوم ضعيف نسبياً وبذلك فامتصاص البوتاسيوم قد يكون من السهل استبداله بكاتيون آخر خاصةً بالكالسيوم Ca^{+2} والماغنيسوم Mg^{+2}. تكون مواقع ربط البوتاسيوم (i) قوية وتلعب دوراً كبيراً في تثبيت البوتاسيوم في الترب.

يعتمد سلوك البوتاسيوم في التربة كثيراً على محتوى ونوع معادن الطين الموجودة. تكون حركة البوتاسيوم ومعدلات انتشاره منخفضة في التربة الغنية عموماً بالمواقع النوعية لربط البوتاسيوم وهذا يكون صحيحاً أيضاً لغسل البوتاسيوم (أنظر 3.1.6)، والتي تصل إلى حوالي 8 كيلوجرام بوتاسيوم / هكتار / السنة تحت ظروف المناخ المعتدل (Coppenet (1969), Vömel (66/1965)).

معدلات غسل البوتاسيوم قد تكون عالية جداً في الترب العضوية والرملية Giskin and Majdan (1969), Dam Kofoed and Lindhart (1968) فإضافة البوتاسيوم على هذه الترب يكون أكثر عرضة للغسيل لذلك يجب إضافته في الربيع أفضل من الخريف من أجل منع فقدان الرئيسي بوساطة غسل الشتاء. تكون الترب الغنية بمعادن طين الكؤلنيت فقيرة في المواقع النوعية لربط البوتاسيوم ومثل هذه الترب توجد بكثرة في المناطق الاستوائية. تكون المشاكل المرتبطة بحدوث انخفاض البوتاسيوم المتأصل في هذه الترب متفاقمة بالغسيل

نتيجة ظروف الأمطار الاستوائية العالية.

4.1.10 أجزاء البوتاسيوم Potassium fractions

يمكن تقسيم بوتاسيوم التربة إلى ثلاثة أجاء وهي بوتاسيوم كعنصر في تركيب معادن التربة والبوتاسيوم المدمص التبادلي من غرويات التربة مثل معادن الطين والمادة العضوية والبوتاسيوم الموجود في محلول التربة. يوجد معظم البوتاسيوم في الترب المعدنية في النظام الشبكي لطبقات المعادن، وحسب Scheffer et al. (1960), Waklander (1954) من الجزء التبادلي. هذه الأجزاء الثلاثة ذات شأن في تيسر البوتاسيوم لجذور النبات ومع ذلك يكون بحالة مغايرة في كمياته في التربة والبوتاسيوم في محلول التربة هو الأهم إلى حد بعيد لتزيد النبات ((Grimme et al. (1971).

العلاقات الرئيسة بين الأجزاء الثلاثة موضحة في الشكل (3.10). البوتاسيوم المتحرر بالتجوية للمعادن يكون ذائباً في محلول التربة فيمكن أن تمتصه جذور النبات مباشرة أو تدمصه غرويات التربة من ذلك يحدث توازن بين البوتاسيوم المدمص والبوتاسيوم الحر في محلول التربة. يعتمد مستوى البوتاسيوم في محلول التربة الناتج من هذا التوازن على انتقائية مواقع الإدمصاص بدرجة كبيرة. إذا كانت هذه خاصه للبوتاسيوم فتركيزه في محلول التربة سيكون منخفض ((Rezk and Amer (1969).

تركيز البوتاسيوم في محلول التربة يكون عموماً عالياً إذا كانت مواقع الربط أقل نوعية للبوتاسيوم ((Nemeth et al. (1970). ينظم تركيز البوتاسيوم في محلول التربة بدرجة كبيرة معدل انتشاره إلى جذور النبات وأيضاً امتصاص النباتات ,(Wanasuria et al. (1981)

(During and Duganzich (1979), Mengel and Von Braunschwig (1972)).إلى جانب تركيز البوتاسيوم في محلول التربة وسعة مقاومة التغير للبوتاسيوم في التربة تكون ذات أهمية إضافية كعامل لتحديد تيسر البوتاسيوم (أنظر5.3.2).

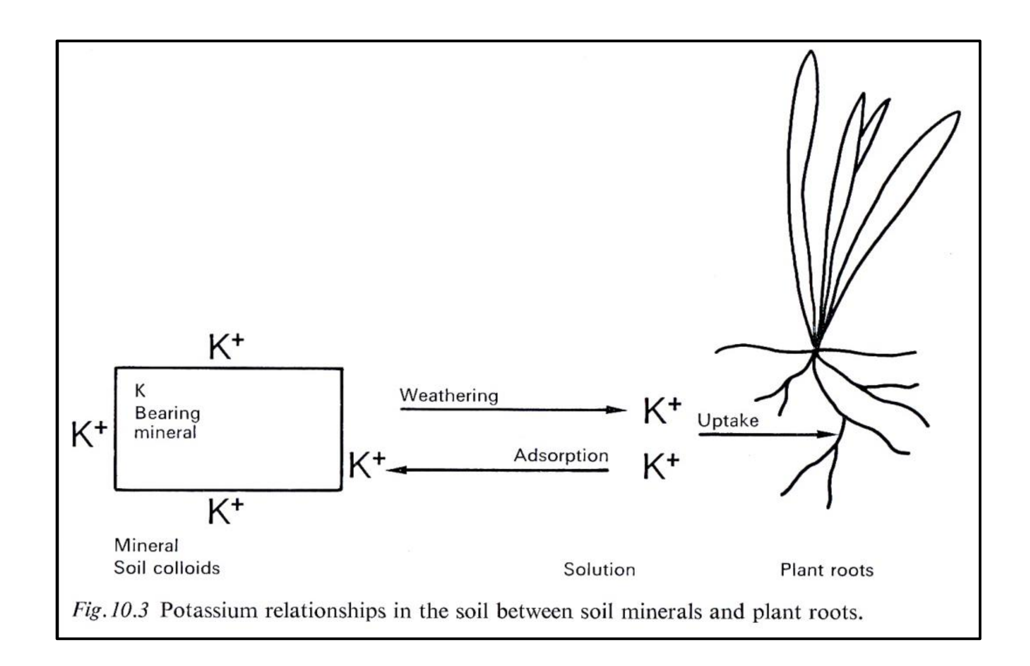


Fig.10.3 Potassium relationships in the soil between soil minerals and plant roots.

كلما زاد جزء البوتاسيوم التبادلي يكون الاستهلاك كبيراً وهذا يكون المساهمة من البوتاسيوم غير التبادلي لتزويد النبات بالبوتاسيوم (Mengel and Wiechens (1979)). قد يختلف معدل تحرر البوتاسيوم غير التبادلي بين الترب ولذا في الغالب لا يكفي احتياجات المحصول (Grimme (1974), V. Boguslawski and Lach (1971)). تحرر البوتاسيوم من الجزء غير التبادلي يكون أعلى تحت الظروف الرطبة للترب منه تحت الظروف الجافة (Mengel and Wiechens (1979)). تكون الحشائش أفضل مقدرة لاستخدام جزء

البوتاسيوم غير التبادلي من النباتات ذوات الفلقتين وخاصةً البقوليات ((Malquori et al. (1975), Blaser and Brady (1950)). هذا يكون مبرراً ذا أهمية لإحلال الحشائش مكان البقوليات في المراعي المختلطة تحت ظروف قلة تيسر البوتاسيوم ((Steffens and Mengel (1979)).

2.10 البوتاسيوم في الفسيولوجي: Potassium in Physiology

1.2.10 الامتصاص والانتقال: Uptake and translocation

يعتبر البوتاسيوم عنصراً ضرورياً لكل الكائنات الحية، ويكون الكاتيون في فسيولوجي النبات هو الأكثر أهمية ليس فقط كمحتوى في أنسجة النبات لكن فيما يتعلق بوظائفه الفسيولوجية والكيموحيوية أيضاً. هناك ميزة واحدة يتصف بها أيون البوتاسيوم وهي أن معدل امتصاص أنسجة النبات للبوتاسيوم يكون عالياً وهذا يعتمد على نشاط آلية الامتصاص (أنظر 6.1.3) وهناك دليل بأن من كل أنواع الكاتيونات المعدنية الضرورية يكون البوتاسيوم العنصر الوحيد الذي يمكن أن ينتقل ضد الجهد الكهروكيميائي Electrochemical gradient في خلايا النبات (,Dunlop and Boeling (1971) (Spanswick and Williams (1964), Ansari and Bowling (1972). لقد وجد Cheeseman and Hanson (1979) دليلاً بأن امتصاص البوتاسيوم يكون نشطاً عند التراكيز المنخفضة في محلول التغذية وتتوقف ميكانيكية الامتصاص النشط بتراكيز البوتاسيوم العالية (أنظر 6.1.3). إن معدلات امتصاص البوتاسيوم تكون منظمة بتركيز البوتاسيوم داخل النبات ((Glass (1976) الذي بالمقابل له أثر على انتفاخ الخلية Cell turgor.

حسب Zimmermann (1978) أن أقصى انتفاخ للخلية الذي ينتظم امتصاص البوتاسيوم ونتائج Glass and Perley (1980) ذات أهمية في هذا المحيط حيث تبين من زراعة 10 أصناف شعير مختلفة إلى حد كبير في معدلات امتصاصها للبوتاسيوم وأنه كانت هناك علاقة بين معدل امتصاص البوتاسيوم ومعدل النمو.

يكون البوتاسيوم متحركاً جداً داخل النبات واتجاه انتقاله الرئيسي نحو الأنسجة المرستيمية Meristemtic. يعاد توزيع البوتاسيوم في الغالب من أعضاء النبات القديمة إلى الأنسجة الحديثة ويمكن ملاحظة هذا بوضوح في بحث Greenway and Pitman (1965) على نباتات الشوفان الحديثة. يمكن ملاحظة النتائج الجوهرية بوضوح في الجدول (2.10) بأن انتقال البوتاسيوم في الأوراق القديمة كان أعلى بقليل من انتقاله منها. كان يعاد توزيع انتقال البوتاسيوم من الأوراق إلى الأوراق الثانوية والأحدث. لذلك فإنه من الواضح أن الأوراق الحديثة قد زودت بالبوتاسيوم الذي منشأه الأنسجة القديمة.

Table 10.2 Turnover of potassium in oat plants at the third leaf stage (data of Greenway and Pitman [1965])

Uptake in μM K/day	Oldest leaf	Second leaf	Youngest leaf
From the roots	1.9	2.7	2.0
From other plant organs	–1.6	0.7	1.3

إن السبب في أفضلية انتقال البوتاسيوم إلى الخلايا الإنشائية الحديثة (المرستمية) ليس معروفاً إلى الآن لكن العلاقات بتمثيل البروتين ومعدل النمو وتزويد السيتوكينيات

Cytokinins فقد كان أمر مسلماً به ((Jacoby et al. (1973)).

هذه الاقتراحات قد أيدها بيانات بحث Cocucci and Dalla Rosal (1980) حيث وجدوا أن تحفيز تأثير اندول حامض الخليك IAA (Indole acetic acid) على استطالة أغمدة الذرة يكون ذا علاقة وثيقة بتحرر أيون الهيدروجين H^+ وامتصاص البوتاسيوم K^+ وتمثيل البروتينات.

يُمتص معظم البوتاسيوم بالدرجة الأولى خلال طور النمو الخضري لمحاصيل الحبوب، هذا يعني أنه في الفترة من التفرع Tillering إلى بزوغ السنابل ومعدل امتصاص يكون على الأخص عالياً. من النادر فقدان البوتاسيوم من أنسجة الجذور تحت ظروف الأيض الطبيعية ((Johanson et al. (1970)). تحرر البوتاسيوم من الجذور للوسط المحيط يكون منخفضاً جداً حتى خلال طور النضج لمحاصيل الحبوب والكميات تصل إلى حوالي 1.5 % من البوتاسيوم الكلي في النبات (Haeder (1971). يدل معدل امتصاص البوتاسيوم العالي على أن هناك منافسة قوية في امتصاص أنواع الكاتيونات الأخرى (أنظر 1.2.12). عندما يكون امتصاص البوتاسيوم منخفضاً يحفز امتصاص الكاتيونات ((Grimme et al. (1974)). من ناحية أخرى فإن امتصاص البوتاسيوم وبقاءه في خلايا النبات يكون متأثراً بتنافس أيونات الهيدروجين H^+ والكسيوم Ca^{+2} والماغنيسوم Mg^{+2} والصوديوم Na^+ ((Elzam and Hodges (1967), Gavtel (1955)).

هناك صفة نموذجية إضافية للبوتاسيوم وهي إرتفاع تركيزه في عصارة اللحاء حيث في الحقيقة يكون معظم الكاتيونات غزارة وتصل كمياتها إلى حوالي 80 % من مجموع

الكاتيونات (Hall and Barker (1972)). بما أن المواد الذائبة في عصارة اللحاء يمكن أن تنتقل إلى الأعلى (قمية التعاقب) وإلى أسفل (قاعدية التعاقب) في النبات فمن الوارد إمكانية انتقال البوتاسيوم إلى مسافات طويلة. أعضاء النبات تزود تفضيلياً بعصارة اللحاء مثل الأوراق الحديثة والأنسجة الإنشائية والفواكه الغضة (التفاح والعنب) ويكون محتوى البوتاسيوم فيها عالياً (Cassagnes et al. (1969)) وظيفة البوتاسيوم في عصارة اللحاء ليست واضحة بالكامل. حسب البرنامج المقترح بواسطة Ben ziono et al. (1971) فالبوتاسيوم في عصارة اللحاء يكون الضد الرئيسي لأيون الماليت Malate الذي ينتقل إلى الجذور من الأغصان وفي عملية التنفس (ينطلق).

تنتقل الأنيونات المكافئة للماليت إلى البيكربونات HCO^-_3 التي تتحرر من الجذور في عملية التنفس في الوسط الغذائي. يمكن أن تُمتص أيونات النترات بالتبادل وتنتقل في عصارة الخشب إلى أعلى مع أيونات البوتاسيوم المؤثرة أصلاً كأيونات مضادة لحركة الماليت إلى أسفل. هناك دليل بأن آلية إعادة انتشار البوتاسيوم من هذا النوع قد بينها (Kirkby and Armstrong (1980)) على نبات الخروع Rieinus communis يترك جزء كبير من الشحنة السالبة في هذه الأنواع بعد اختزال النترات NO^-_3 إلى أيونات الأحماض العضوية في الأوراق في الأنواع الأخرى كما في الطماطم، وتكون باقية في موضعها (الأوراق) الطبيعي وتشترك مع الكاتيونات (Kirkby and Knight (1977)).

2.2.10 النظام المائي: Water regime

البوتاسيوم يكون أعظم أهمية لوضعية الماء في النباتات. إن امتصاص الماء في الخلايا

والأنسجة يكون تكرار لنتيجة من الامتصاص الحيوي للبوتاسيوم (Läuchli and Pflüger (1978)). لقد بين Green and Muir (1978) أن التمدد لبادرات الخيار كان ذو علاقة وثيقة بالتزود بالبوتاسيوم. لقد وجد Arneke (1980) أن انتفاخ خلايا الأوراق الحديثة لنبات الفاصوليا Phaseolus Valgaris كان معتمداً على محتواها من البوتاسيوم. ففي معاملة البوتاسيوم المنخفض كانت قيمة جهد الانتفاخ 5.05 بار والتي كانت معنوياً أقل من انتفاخ معاملة البوتاسيوم العالي والتي كانت 7.17 بار. عند معاملة البوتاسيوم المنخفض كان هناك انخفاض في معدل النمو وحجم الخلية ومحتوى الماء في الأنسجة فمن هذه النتائج لهذه التجربة كانت الخلاصة أن البوتاسيوم في الأنسجة الحديثة يكون أساسياً للحصول على أقصى انتفاخ للخلية والذي بالمقابل يكون ضرورياً لتمدد الخلية.

يظهر أن الانتفاخ Turgor هو الحدود الحساسة الدالة على حالة البوتاسيوم الغذائية في الأنسجة الحديثة. البوتاسيوم و علاقته بالعمليات الأخرى مثل امتصاص ثاني أكسيد الكربون والفسفرة وتمثيل البروتين يكون أقل حساسية كمؤشر عن تزويد البوتاسيوم غير الكافي.

نتائج Dela Guardia and Benlloch (1980) أكدت دور البوتاسيوم الضروري أيضاً للانتفاخ واستطالة الساق لنباتات عباد الشمس الحديثة. تبين النتائج لهؤلاء الباحثين أيضاً أن البوتاسيوم يؤثر تعاونياً مع حامض الجبرلك Gibberellic acid لذلك فأعلى معدلات الاستطالة قد تحصلوا عليها عندما كان البوتاسيوم وحامض الجبرلك قد أضيفا معاً.

إن الفقدان القليل للماء من النباتات المزود جيداً بالبوتاسيوم يكون بسبب انخفاض

معدل النتح ((Brag(1972). دراسات ((Humble and Hsiao (1968) قد بينت أن البوتاسيوم يلعب دوراً معنوياً في فتح الثغور. حيث أن النتح لا يعتمد على الجهد الأزموزي لخلايا النسيج الأوسط mesophyll فقط. بل يكون أيضاً متحكماً فيه لدرجة كبيرة بوساطة فتح وغلق الثغور. لقد وجد دليل مقنع على هذه العلاقة باستخدام تحليل المجس الألكتروني Electron Probe بوساطة دراسة (Humble and Rascke (1971 بأن هذه التقنية قد أمكن قياس محتوى البوتاسيوم للخلايا الحارسة لفتح وغلق الثغور والشكل (4.10) يبين نتيجة هذه التجربة. يمكن ملاحظة أن محتوى البوتاسيوم في حالة الفتح يكون أعلى بدرجة كبيرة من محتوى البوتاسيوم للخلايا الحارسة في حالة غلق الثغور. تنتج الخلايا الحارسة أدونسين ثلاثي الفوسفات ATP تحت ظروف الإضاءة بغزارة في عملية التمثيل الضوئي المفسفرة Photosystheric phosphorylation وبذلك يدعم ميكانيكية امتصاص البوتاسيوم الحيوي (النشط) مع طاقة كافية ((Humble and Hsiao (1970).

لذلك فالبوتاسيوم يكون متجمعاً في الخلايا الحارسة بتراكيز كبيرة وينتج ارتفاع ضغط الانتفاخ مما يسبب فتح الثغور، يوضح الشكل (4.10) أيضاً أن الأنيونات غير العضوية ($H_2PO^-_4$, Cl^-) لا تصاحب امتصاص البوتاسيوم. لموازنة البوتاسيوم K^+ يكون الماليت هو الشحنة للأنيونات الرئيسية وهذا من المحتمل أنه ينتج بواسطة كربكسلة Carboxylation بيروفيت الفوسفونيل (Phosphoenol Pyruvate (PEP (انظر 9.1.3) .

إن كمية فتح وغلق الثغور تعتمد على التغير المستمر للبوتاسيوم (Penny and Bowliny (1974).

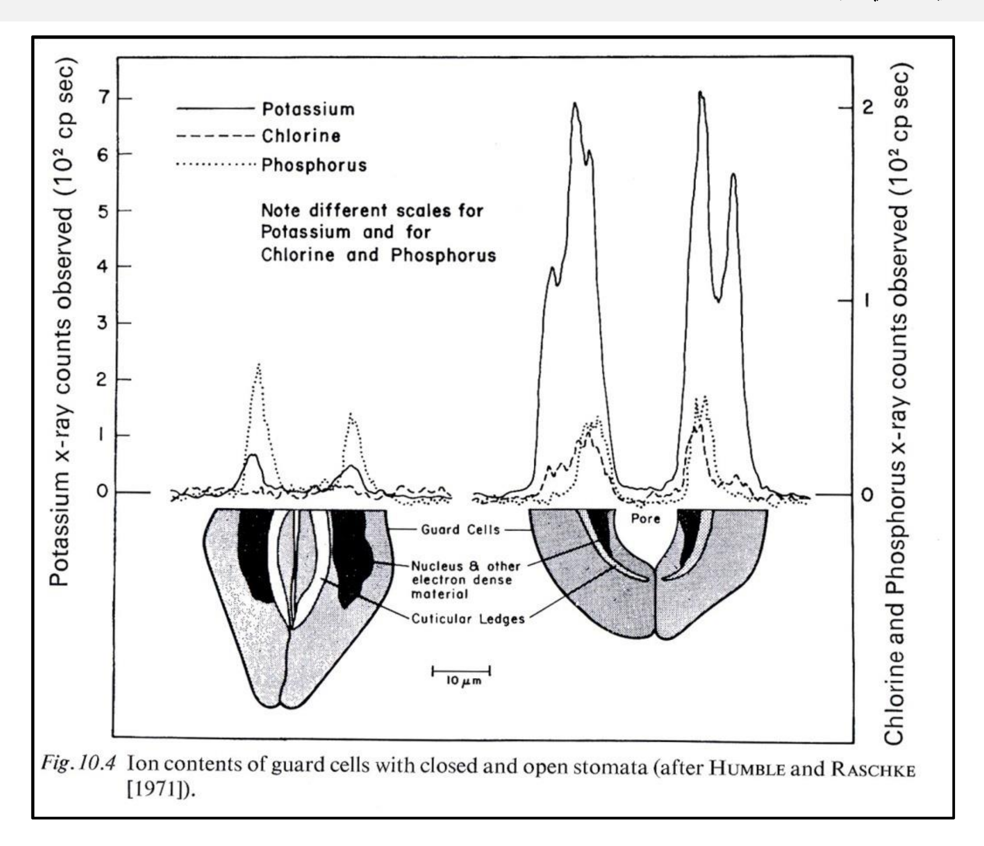


Fig. 10.4 Ion contents of guard cells with closed and open stomata (after HUMBLE and RASCHKE [1971]).

لهذا السبب فالنباتات المزودة بكميات غير كافية من البوتاسيوم يكون فيها حركة الثغور ضعيفة ((Terry and Ulrich (1973). يظهر أنه في معظم أنواع النبات تكون آلية الفتح والغلق معتمدة مطلقاً على عملية امتصاص البوتاسيوم خاصة. الكاتيونات الأحادية الأخرى تكون عموماً غير قادرة على الإحلال مكان البوتاسيوم في هذه الوظيفة الخاصة ((Trolldenier(1971) ماعدا في بعض أنواع النباتات مثل نبات كلانشومارموراتا Kalanchoe marmorata الذي يكون فيه الصوديوم فعالاً. هناك مراجعة عن فاعلية الثغور قدمها ((Raschke(1975).

3.2.10 التمثيل الضوئي وانتقال المواد المتمثلة ضوئياً:

Photosynthesis and translocation of photosynthates

لقد بين Peoples and Koch (1979) بوضوح تأثير البوتاسيوم على معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون CO_2 حيث وضحت بحوثهم أن البوتاسيوم لم يؤثر مباشرة على النظام الضوئي I أو II (II and I Photosyntem) لكنه حفز التمثيل من جديد لأنزيم كربوكسيليز ثنائي فوسفات الريبيولوز Vibulose biphosphate carboxylase. يخفض البوتاسيوم أيضاً مقاومة انتشار ثاني أكسيد الكربون في النسيج الأوسط mesophyll. إن بعض البيانات الأكثر أهمية لهذا البحث معطاة في الجدول (3.10) تبين أن الزيادة في امتصاص ثاني أكسيد الكربون كان متوازياً مع الزيادة في التنفس الضوئي photorespiration وللانخفاض في تنفس الظلام dark-respiration تغاير تأثيرات البوتاسيوم على امتصاص ثاني أكسيد الكربون من جانب وتنفس الظلام من جانب آخر قد بينها (Barankiewiez (1978) ,Jackson and Volk(1968.

هناك عدد من الباحثين قد بينوا أن البوتاسيوم يحفز انتقال نواتج عملية التمثيل الضوئي وقد أوضحه (Mengel (1980. يبين جدول (4.10) التأثير النموذجي للبوتاسيوم بأنه لا يحفز فقط انتقال نواتج عملية التمثيل الضوئي الحديثة بل له تأثير ايجابي أيضاً على حركة البروتينات المخزونة في الأوراق والسيقان وحفز أيضاً انتقال المواد النيتروجينية المتحللة إلى الحبوب ((Hartt (1969).

Table 10.3 Effect of K^+ of CO_2-assimilation, photorespiration, and dark respiration (PEOPLES and KOCH [1979])

K^+ in leaves, % K i. DM	CO_2-assimil. mg/dm²/h	Photorespiration dpm/dm²/h	Dark respiration mg/dm²/h
1.28	11.9	4.00	7.56
1.98	21.7	5.87	3.34
3.84	34.0	8.96	3.06

لقد أوضح Hartt (1970) و Mengek and Viro (1974) أن تأثير البوتاسيوم على نواتج عملية التمثيل الضوئي لا يكون نتيجة معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون العالي. آلية البوتاسيوم التي بواسطتها يزيد معدل الانتقال ليست مثبتة بوضوح. لقد افترض Malek and Baker (1977) أن البوتاسيوم يؤثر مباشرة على عملية تزويد اللحاء حيث أن البوتاسيوم يكون منقولاً في الخلايا الغربالية كأيون مضاد لأيون الهيدروجين المتحرر (Komor et al. (1980). ينتج البوتاسيوم المنقول في إزالة جزئية لاستقطاب الغشاء الذي يعتقد أنه يحفز نشاط أنزيم الأدونزين ثلاثي الفوسفاتيز ATPase وكذلك عملية تعبئة اللحاء (أنظر الشكل (9.3)).

إن البوتاسيوم معروف بتأثيره الايجابي النافع على تمثيل ادينوزين ثلاثي الفوسفات ATP (Pfluger and Mengel (1972), Hartt (1972), Watanuube and Yoshida (1970)). بما أن مركب الطاقة ATP ضرورياً لعدد من تفاعلات التمثيل فقد يحفز تمثيل مركبات عضوية مختلفة مثل البروتينات والسكريات وعديد السكر Polysaccharides بطريقة غير مباشرة.

Table 10.4 Translocation of C-14 labelled photosynthates in sugar cane with a low and high K supply (total label = 100%) (Hartt [1969])

	% of total label	
	+ K	− K
Fed blade	54.3	95.4
Sheath of fed leaf	14.2	3.9
Joint of fed leaf	9.7	0.6
Leaves and joints above fed leaf	1.9	0.1
Stalk below joint of fed leaf	20.1	0.04

4.2.10 تنشيط الأنزيم : Enzyme activation

الوظيفة الرئيسية للبوتاسيوم في الكيمياء الحيوية تكون تنشيطه لأنظمة الأنزيمات المختلفة ((Evans and Sorger (1966). في معظم الحالات يكون البوتاسيوم الكاتيون الأكثر كفاءة في التأثير على هذا التنشيط والشكل (5.10) يعطي مثال نموذجي عن تنشيط أنزيمي بكاتيونات أحادية التكافؤ. الأنزيم سنثاتيز النشا Starch Synthetase من الذرة كان الأكثر تنشيطاً بقوة بالبوتاسيومK^+ تلاه الروبيديوم Rb^+ والسيزيوم Cs^+ والأمونيوم NH_4^+ والتنشيط بالصوديوم Na^+ كان ضعيفاً جداً والليثيوم Li^+ لم يكن له تأثير. يكون التنشيط بوساطة الأمونيوم أو الروبيديوم مع بعض الأنزيمتن مماثلاً في الكفاءة للبوتاسيوم. هذا اهتمام نظري لأن أحجام أنواع تلك الأيونات الثلاثة تكون غالباً متماثلة عند تميئها. لذلك فإن التنشيط يبدو أنه ذو علاقة بحجم الأيون المنشط. يمكن أن تحل أيونات الأمونيوم NH_4^+ والروبيديوك Rb^+ محل البوتاسيوم K^+ في كل النباتات تنشط الأنزيمات كما أنها تكون سامة عند التركيزات المطلوبة من البوتاسيوم (Morard (1973) , El-sheikh and Ulrich (1970)). لقد تبين في تجارب أنابيب In Vitro أن أقصى تنشيط للبوتاسيوم يكون الحصول

عليه في مدى تركيز حوالي 40 – 80 مليمول. هذا قد يكون صحيحاً في الظروف داخل النبات In Vivo فهذا محل شك لأن في داخل النبات قد يؤثر ناتج الأيض على تنشيط الأنزيم بوساطة تأثيرات ألوسترك Allosteric.

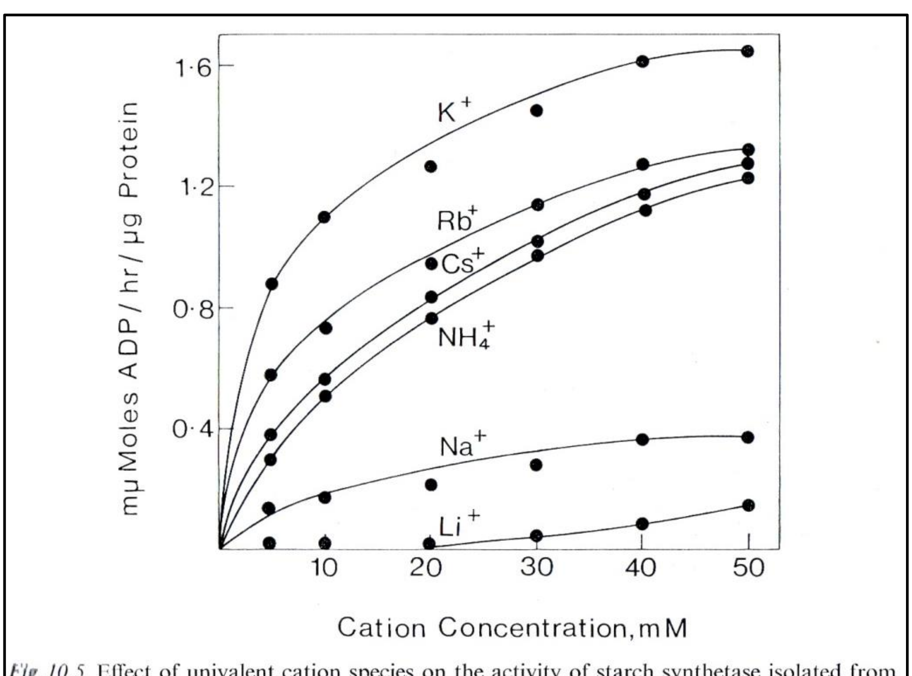


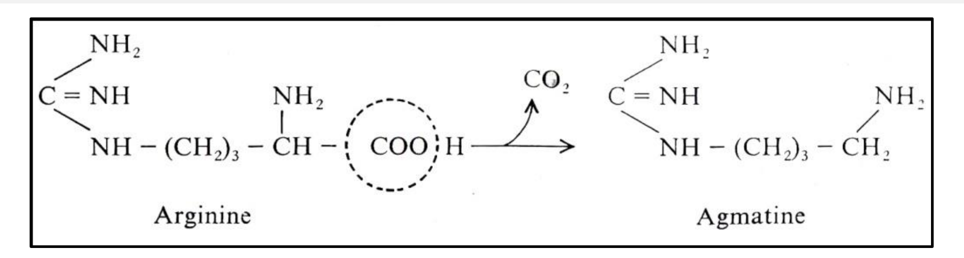
Fig. 10.5 Effect of univalent cation species on the activity of starch synthetase isolated from sweet corn (after NITSOS and EVANS [1969]).

حسب Suelter (1970) أن التركيزات المنخفضة فقد في مدى 2 مليمول تكون مطلوبة لتنشيط الأنزيمات داخل النبات In Vitro. هذا يعني أنه حتى تحت ظروف نقص البوتاسيوم سيكون هناك بوتاسيوم متيسر كافٍ لأقصى تنشيط. عموماً تركيز البوتاسيوم في السيتوبلازم يكون في مدى 100–200 مليمول ((Pierce and Higinbotham (1970)

وحتى في الأنسجة التي تعاني من نقص البوتاسوم يكون تركيزه 50 مليمول موجوداً في تلك الأنسجة لذا فإن أهمية البوتاسيوم لتنشيط الأنزيم هو اهتمام نظري أكثر منه عملي. هناك عمليات أكثر حساسية للبوتاسيوم في النباتات النامية مثل الامتصاص والاحتفاظ بالماء والفسفرة والنقل في اللحاء وانتشار ثاني أكسيد الكربون في النسيج الأوسط Mesophyll. هذه العمليات هي ذات علاقة وثيقة بحالة البوتاسيوم العنصر الغذائي للنبات وأساساً لتنظيم النمو وإنتاج المحصول.

قد تتراكم المركبات المنخفضة الوزن الجزيئي مثل الأحماض الأمينية والسكريات في النباتات الضعيفة التزود بالبوتاسيوم ليس نتيجة إعاقة نشاط أنزيمي مباشر لكن قد يعود للتزويد غير الكافي بالطاقة ATP. قد يحفز نقص الطاقة تعطيل عملية بناء البروتين الذي بالمقابل يمكن أن يؤثر في نشاط الأنزيم بطريقة غير مباشرة بسبب نقص بروتينات الأنزيم وهذا قد تم توضيحه بأنزيم اختزال النترات Nitrate reductase ((Pfluger and Wiedemann (1977) وأنزيم الكربوكسيليز ثنائي الفوسفات الريبولوز Ribulase biposphate carboxyiase ((Peoples and Kock (1979).

يؤدي النقص الحاد في البوتاسيوم إلى تكوين أمينات سامة بيوترسين Putrescine وأجماتين Agmatine ((Smith and Sinclair (1967). حسب Smith and Garr away (1964) فإن الأجماتين ينتج بواسطة نزع الكربوكسيل من الارجنين decirboxylation of arginine وإنتاج ثاني أكسيد الكربون.



$$\mathrm{NH_2{-}C(=O){-}NH-(CH_2)_3-CH_2{-}NH_2 \xrightarrow{+\,H_2O} NH_2{-}C(=O){-}OH + H_2N-(CH_2)_4-NH_2}$$

Carbamylputrescine　　Carbamic acid　　Putrescine

هذه التفاعلات تحفّز عندما تكون متويات الرقم الهيدروجيني الخلوية منخفضة (Goring and Bui Hay Thien (1979)).

5.2.10 إحلال البوتاسيوم بالصوديوم Replacement of Potassium by sodium

السؤال فيما إذا كان من الممكن للصوديوم أن يحل محل البوتاسيوم في العمليات الفسيولوجية في النبات هو ليس اهتماما أكاديمياً فقط، لكن كذلك للأهمية العملية في العلاقة باستخدام السماد (أنظر 3.4.10). في العمليات الأقل دقة مثل ارتفاع انتفاخ الخلية بعض الإحلال يكون ممكناً. يمكن حدوث الامتداد إلى الإحلال بالاعتماد بدرجة كبيرة على إمكانية امتصاص الصوديوم وهذا يختلف بدرجة كبيرة بين أنواع النباتات (Marschner (1971)). يوضح الجدول (5.10) إمكانية امتصاص الصوديوم لمحاصيل

مختلفة. التأثير الإيجابي له أهمية على نمو النبات وهذا يحدث على الأخص في حالة أنواع البيتا Beta للأنواع ذات الامتصاص العالي والمتوسط للصوديوم. (El-Sheikh and Ulrch (1970)).

Table 10.5 Uptake potential of various crops for sodium (data from MARSCHNER [1971])

High	Medium	Low	Very low
Fodder beet	Cabbage	Barley	Buckwheat
Sugar beet	Coconut	Flax	Maize
Mangold	Cotton	Millet	Rye
Spinach	Lupins	Rape	Soya
Swiss chard	Oats	Wheat	Swede
Table beet	Potato		
	Rubber		
	Turnips		

يساهم الصوديوم في الجهد الأزموزي Osmotic potential للخلية ولهذا فإن له تأثير إيجابي على النظام المائي في هذه الأنواع من النباتات. عندما يكون التزويد بالبوتاسيوم غير كافٍ فالجدير بالملاحظة التأثير النافع للصوديوم على نمو النبات (Amin and Joham (1968) , Hylton et al. (1967))، يبين الجدول (6.10) مثال ذلك عن الأرز (Yoshida and Castaneda (1969) يساهم الصوديوم في زيادة إنتاج الحبوب عندما تكون تركيزات البوتاسيوم منخفضة في حين يخفض الصوديوم الإنتاج قليلاً عند التركيزات العالية من البوتاسيوم. نقص الصوديوم على النباتات يكون غير ملحوظ تحت ظروف الحقل. لقد نجح Wooley (1957) في تحفيز أعراض نقص الصوديوم في الطماطم تحت ظروف الصوبة الزجاجية. حسب Brownell and Crossland (1972) فإن الصوديوم غذاء ضروري

لنباتات الكربون 4 (C4). تأثير الصوديوم على نمو النبات قد أخذ في الاعتبار في بحوث Jennings (1976), Marschner (1971).

Table 10.6 Effect of increasing potassium concentrations on the grain yield of rice, in the presence or absence of a high Na level in the nutrient solution (Yoshida and Castaneda [1969])

K-concentration mM	Grain yield, g/pot – Na	Grain yield, g/pot + 43 mM Na
0.025	4.6	11.0
0.050	6.9	19.9
0.125	26.4	46.6
0.250	63.3	67.3
1.25	67.5	75.9
2.50	90.8	87.6
5.00	103.6	92.6

تختلف أنواع وأصناف النباتات بدرجة كبيرة في مقدرتها لاستعمال البوتاسيوم (Asher and Ozanne (1977),(1967)) وقد ظهرت في السنوات القريبة أصناف من محاصيل جديدة ذات كفاءة عالية لاستخدام البوتاسيوم. هذه الكفاءة تكون محدودة في تغيير وزن المادة الجافة للنباتات المنتجة في وحدة وزن البوتاسيوم الممتص. لقد أختار Makmur et al. (1978) عدد 156 خط من نباتات الطماطم لقياس كفاءة البوتاسيوم وقد لاحظوا أن الخطوط كانت مميزة بمقدرة النباتات لإحلال الصوديوم محل البوتاسيوم بدرجة كبيرة. لقد وجد Gerloff (1976) في عدد من أصناف الفاصوليا أن انتقال البوتاسيوم في النبات يكون ذا أهمية أيضاً لكفاءة البوتاسيوم.

6.2.10 نقص البوتاسيوم: Potassium deficiency

لا يظهر نقص البوتاسيوم حالاً كأعراض مرئية، ففي البداية يحدث انخفاض في

معدل النمو (الجوع المختفي Hidden-hunger) ثم بعد ذلك يظهر اصفرار وموت موضعي. تبدأ هذه الأعراض في الأوراق القديمة لأنها تزود الأوراق الحديثة بالبوتاسيوم.

حسب بحوث (1973) Pissarek على اللفت و (1973) Morard على السرجوم Sorghum حيث تكون أعراض نقص البوتاسيوم مرئية في الورقة الثانية والثالثة القديمة وليست في الورقة الأقدم. يبدأ الاصفرار والموت الموضعي في حافة وقمة الأوراق في معظم أنواع النباتات (الذرة ومحاصيل الحبوب وأشجار الفاكهة) (اللوحة 1.10) لكن تتوزع بقع موت موضعي بغير انتظام على الأوراق في بعض الأنواع مثل البرسيم (أنظر اللوحة 2.10).

تظهر النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم انخفاض في الانتفاخ Turgor وتحت شد الماء Water stress وتصبح رخوة بقلة المقاومة للجفاف وبذلك تكون ضعيفة عموماً ((1973) Pissarek) وتبين النباتات المتأثرة زيادة في القابلية لضرر الصقيع والهجوم الفطري وظروف الملوحة. يلاحظ غالباً النباتات التي تعاني نقص البوتاسيوم ظهور تطورات شاذة للأنسجة وجسيمات الخلية. حسب (1973) Pissarek بأن التزويد غير الكافي للبوتاسيم ينتج عنه انخفاض معدل النمو للقُلب Cambium في الساق لنبات اللفت (براسيكانابس Brassica napus). تكوين أنسجة الخشب واللحاء محدود في حين كان التأثير ضئيلاً على أنسجة القشرة.

نتيجة نقص البوتاسيوم يسبب أن عملية تكوين اللجنينLignification تكون عموماً ضعيفة. هذا التأثير من المحتمل أن يجعل المحاصيل التي تعاني نقص البوتاسيوم أكثر ميولاً للتزويد. نقص البوتاسيوم ينتج أيضاً في هدم الكلوروبلاستات ((1973) Pissarek)

والميتاكوندريا ((Kursanov and Vyskrebentzeva (1966). لقد وضعت أعراض نقص البوتاسيوم لأنواع عدة من النباتات بالتفصيل بواسطة (,Ulrich and Ohki (1966) .(Bussler (1964)

3.10 البوتاسيوم في تغذية النبات : Potassium in crop nutrition

1.3.10 احتياجات واستجابة المحصول Crop requirements and response

البوتاسيوم الموجود طبيعياً في التربة منذ آلاف السنين كان عملياً هو المصدر الوحيد للنباتات لذا فالترب المنخفضة في تيسر البوتاسيوم كانت غير خصبة. مستويات البوتاسيوم في الوقت الحاضر غير الكافية في التربة يمكن تصحيحها باستخدام أسمدة بوتاسيوم. تضاف معدلات مرتفعة من أسمدة البوتاسيوم في أنظمة الزراعة المكثفة خاصة. كمية البوتاسيوم التي يمتصها المحصول (كيلوجرام/هـ) والمفقود بالغسيل يجب على الأقل أن تكون متوازنة بسماد البوتاسيوم من أجل المحافظة على مستوى خصوبة التربة. كمية البوتاسيوم العائدة للتربة تكون مساوية أو أكثر من الكمية المزالة بواسطة المحصول وهذا يكون فقط في أنظمة الزراعة المتقدمة جداً ذات المستوى الإنتاجي العالي. هذا يعني أنه في كثير من الحالات بوتاسيوم التربة المخزون قد أستنفذ.

يعطي الجدول (2.6) بعض المؤشرات عن المعدلات التي عندها يجب إضافة البوتاسيوم لتعويض الكميات المزالة من التربة بالمحاصيل المختلفة والمعدل الطبيعي حوالي 40–250 كيلوجرام/الهكتار/السنة. تعتمد كمية البوتاسيوم المزالة من تربة بدرجة كبيرة على مستوى الإنتاج، وأيضاً على معدل غسل البوتاسيوم. تعطى القيم في الجدول (2.6) أساساً

تقريبياً فقط لوضع توصيات تسميد؛ لأن الامتصاص يعتمد بدرجة كبيرة على تيسر البوتاسيوم. عندما يكون تيسر البوتاسيوم منخفض فسيكون امتصاص البوتاسيوم من التربة بواسطة المحصول منخفضاً ويكون الإنتاج غير مرضٍ. توصيات التسميد التي تعتمد على متوسط امتصاص البوتاسيوم الكلي لمحصول ما سوف لن تغطي احتياجات المحصول ولا ترفع خصوبة التربة تحت مثل هذه الظروف.

يحدث عكس هذه الحالة عندما تكون التربة عالية في البوتاسيوم المتيسر فإضافات السماد تكون على أساس امتصاص المحصول الذي ينتج عنه امتصاص أعلى من البوتاسيوم من الاحتياجات القصوى للإنتاج ومن ثم يعتبر هذا إضاعة للسماد لا يمكن أن يعبر عن مستوى تيسر البوتاسيوم في التربة الذي يمكن أن يكون مثالياً بمصطلحات عامة طالما أنه يعتمد على المحصول والمناخ وظروف التربة. وجد V. Brounschweig (1978) في ألمانيا أن مستوى البوتاسيوم المذاب في اللكتيت Lactate يحتاج إلى أن يكون عالياً للترب الغنية بالطين. قام Loué (1979) بتقييم أكثر من 300 تجربة حقلية في فرنسا وأوضح أن إضافة البوتاسيوم نتج عنه استجابة بإنتاج ملحوظ للحبوب إذا كان محتوى البوتاسيوم المتبادل أقل من 80 جزء في المليون في التربة. حدثت زيادة طفيفة فقط في إنتاج الحبوب بعد إضافة سماد البوتاسيوم في الترب المتوسطة البنية مع مستوى بوتاسيوم تبادلي أكثر من 160 جزءاً في المليون عموماً فإن الحشائش ومحاصيل الحبوب أقل استجابة لإضافة البوتاسيوم من ذوات الفلقتين خاصةً البطاطس والبقوليات (Schön et al. (1976), Van Der Paauw (1958)). تحتاج هذه المحاصيل الأخيرة إلى مستويات عالية من بوتاسيوم التربة الميسر. ما

للترب الغنية من البوتاسيوم غير المتبادل فهذا قد يكون هو المصدر الذي تستعمله المحاصيل لدرجة معينة ((George et al. (1979), Sigh and Brar (1977)).

إنتاج المحاصيل يتناقص على المدى الطويل بالتدريج وهذه المصادر تصبح مستنفذة أيضاً ((V. Boguslawski and Lach (1971)).

من أجل تقييم احتياجات المحاصيل من البوتاسيوم يكون من المهم أن نضع في الاعتبار الطول الكامل لفترة النمو، فالطماطم وبنجر السكر على سبيل المثال تمتص حوالي نفس الكمية من البوتاسيوم مثل قصب السكر في وحدة المساحة في السنة، ففي المحصولين الأولين تكون فترة النمو 120 يوماً في حين تكون ممتدة إلى أكثر من سنة لقصب السكر ((Nelson (1968)). هذه تدل على أن المحاصيل بنفس الامتصاص الكلي قد تكون تختلف كثيراً في متطلباتها من البوتاسيوم (الامتصاص / وحدة الزمن). كذلك تختلف الاحتياجات اعتماداً على طور النمو وغالباً ما يكون معدل الامتصاص الأعلى في طور النمو الخضري وعلى سبيل المثال في البطاطس تمتص 50 % من البوتاسيوم الكلي خلال الثلث الأول من فترة النمو؛ في الحبوب أيضاً يكون الاحتياج للبوتاسيوم خلال النمو الخضري وإضافة البوتاسيوم خلال طور تكوين البذور لا يكون له تأثيرات على إنتاج الحبوب (Chapman and Keay (1971)).

هناك عامل آخر لتحديد امتصاص البوتاسيوم بوساطة المحاصيل وهو نوع نظام وامتدادها وهذا مبين بوضوح في المنافسة التي تكون موجودة بين البقوليات والحشائش على امتصاص البوتاسيوم. سيكون امتصاص البوتاسيوم عالياً بالحشائش وتحت ظروف مستوى

البوتاسيوم المنخفض يمكن أن يقود إلى اختفاء البقوليات من المرعى في الحقل عندما تكون هذه الأنواع نامية معاً. لقد بين (1964) Lambert and Linck هذه المنافسة باستخدام أنظمة جذور سليمة من البرسيم والشوفان المزودة ببوتاسيوم 42 (K-42)؛ فعندما أستعمل كل النظام الجذري فإن 91 % من البوتاسيوم النظير قد وُجد في الشوفان و9 % فقط في البرسيم. لكن عندما أضيف البوتاسيوم – 42 منفصلاً لتلامس حلقات جذور البرسيم والشوفان ظهر البوتاسيوم النظير في البرسيم أكثر من الشوفان. هذه النتائج تدل على أن شكل الجذور الخارجي (طول الجذر وعدد الشعيرات الجذرية Root morphology)، ومن المحتمل كذلك جهد امتصاص البوتاسيوم (قوة امتصاص البوتاسيوم) لأنواع المحصول تظهر أن عوامل مهمة تؤثر في التنافس بين أنواع النبات على البوتاسيوم.

تعتمد الاستجابة لامتصاص البوتاسيوم بالمحاصيل بدرجة كبيرة على مستوى تغذية النيتروجين. على العموم المحصول المزود جيداً بالنيتروجين يكون أعلى إنتاجاً بسبب إضافة البوتاسيوم ((Heathcote (1972), Gartner (1969)). من ناحية أخرى فإن النيتروجين المضاف يتم تمثيله بالكامل لإنتاج المحصول فقط عندما يكون التزويد البوتاسيوم كافياً.

في تغيير نظم الزراعة الموسعة إلى المكثفة فإن الاستجابات لأسمدة البوتاسيوم تكون غير ملحوظة كثيراً في السنوات الأولى من الإضافة ((Anderson (1973)). هذا يكون صحيحاً بالفعل في المناطق الأكثر جفافاً والتي لا يحدث بها فقدان للبوتاسيوم أو يكون فقداً قليلاً جداً بوساطة عملية الغسيل. يتراكم البوتاسيوم المخزون في الطبقات السطحية للتربة يكون عادةً كافياً لتغطية احتياجات المحصول في السنوات الأولى للزراعة المكثفة. حينما

يستنفذ هذا المخزون بسبب المتطلبات العالية من البوتاسيوم لزيادة الإنتاج واستمرار الزراعة فيمكن توقع الاستجابة لإضافة سماد البوتاسيوم.

توضح البيانات في الجدول (7.10) من تجارب حقلية في شرق أفريقيا مثل هذه الحالة التي كانت الاستجابة لإضافة سماد البوتاسيوم ضعيفة أو سلبية في السنتين الأوليين في حين في دورة السنتين التاليتين كان هناك تأثير إيجابي ملحوظ لمعظم المحاصيل (Stephens (1969)).

Table 10.7 Yield increases due to potassium fertilizer in the 1st and 2nd cycle of cropping (STEPHENS [1969])

	Yield increase in kg/ha	
	1st cycle	2nd cycle
Maize	– 30	138
Cotton	10	46
Sweet potatoes	1050	1800
Beans	13	12
Millet and Sorghum	– 84	85

2.3.10 النقص والتثبيت في الترب: Deficient soils and fixation

يحدث نقص البوتاسيوم بشكل عام في عدد من أنواع الترب المختلفة. قد يظهر النقص جراء الغسيل مثال ذلك الترب الرملية الحامضية الخفيفة أو في ترب الصخور الحمراء المسامية Lateritic Soils المغسولة بكثافة ((Anderson (1973)). الترب العضوية والخث Peat تكون منخفضة في محتوى البوتاسيوم. يكون هناك أحياناً نقص بوتاسيوم في الترب التي زرعت بكثافة وفي الترب التي ثبت فيها البوتاسيوم وأصبح غير قابل للتبادل

(Ulrich and Ohki (1966)). هناك دراسات لهذه الأنواع من الترب عن الزراعة المستمرة بدون التزويد بالبوتاسيوم باهتمام خاص. في الترب العضوية والرملية التي تكون عموماً ضعيفة في المعادن المحتوية على البوتاسيوم وكذلك في البوتاسيوم غير المتبادل انخفض مستوى الإنتاج بسرعة سنة بعد سنة بسبب استنـزاف البوتاسيوم المتبادل وفي النهاية يكون الحصاد ضعيفاً. في الترب الغنية بالمعادن الحاملة للبوتاسيوم لا ينخفض الإنتاج فيها بسرعة بالإضافة إلى العوامل البيئية التي تسبب تقلبات في الإنتاج كذلك من سنة إلى أخرى بما ينتج من هبوط طفيف في الإنتاج نظراً لاستنزاف البوتاسيوم والذي يصعب ملاحظته. إن المعادن المحتوية على البوتاسيوم كما ذكر سابقاً في 1.1.10 لا تكون مصدراً للبوتاسيوم لا ينفذ ومع الوقت ينخفض معدل تحرر البوتاسيوم غير التبادلي. في الترب التي يكون مصدر البوتاسيوم فيها من معادن الطين 1:2 يكون استنزاف البوتاسيوم من هذه المعادن مشجعاً لجهد تثبيت البوتاسيوم. كلما زاد استنـزاف البوتاسيوم كلما أصبحت السعة التثبيتية أعلى، وأخيراً يصبح تحرر البوتاسيوم قليلاً جداً ويحدث انخفاض كبير في الإنتاج.

من أجل الحصول على إنتاج مقنع من مثل هذه الترب يكون الاحتياج إلى معدلات مرتفعة من الأسمدة بسبب عملية تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين القابلة للتمدد (أنظر 2.1.10).

في الترب التي يكون فيها الفرميكيولين Vermiculite هو معدن الطين السائد قد تثبت كميات كبيرة من البوتاسيوم. في مثل التربة الرملية الطينية اللومية Sandy clay loam من ميشجان في أمريكا قد بين Doll and Lucas (1973) أن 92 % من البوتاسيوم

المضاف قد ثُبِّت. بإضافة البوتاسيوم زاد إنتاج الطماطم إلى حد 1600 كيلوجرام / هـ. تقرير مماثل وضح جزء أخر من أمريكا وفي وادي الدانوب في ألمانيا (Schäfer and Siebold (1972)).

نتائج نموذجية لإضافة البوتاسيوم لترب البوتاسيوم موضحة في الجدول (8.10). يمكن أن يلاحظ أن الاستجابة للذرة كان أكثر بدرجة كبيرة من القمح الربيعي (Burkart (1975)). دلت البيانات في الجدول أيضاً على أن بعض الحالات للمعدلات المرتفعة مثل 300 كيلوجرام K_2O/هـ تعطي استجابات طفيفة وكان الاحتياج إلى 900 كيلوجرام K_2O/هـ للحصول على أقصى إنتاج حبوب.

Table 10.8 Effect of potassium fertilizer application on the grain yield on two K fixing sites (BURKART [1975])

K rate, kg K_2O/ha	Dornwag		Weng	
	Spring wheat 1972 t/ha	Maize 1973 t/ha	Maize 1972 t/ha	Spring wheat 1973 t/ha
0	3.27	2.48	5.34	4.83
300	3.96	3.88	5.63	4.62
600	6.16	5.04	8.66	5.07
900	4.48	5.48	9.37	5.21

3.3.10 المرض: Disease

لا يؤثر البوتاسيوم فقط في إنتاج المحصول بتحفيز النمو وعمليات التمثيل بل أيضاً له أهمية كبيرة في زيادة المقاومة للأمراض لأنواع كثيرة من المحاصيل. تعفن الساق والرقاد في الذرة مثلاً يكون دائماً أكثر حِدة عندما يكون بوتاسيوم التربة منخفضاً مقارنةً مع المغذيات الأخرى ((Kruger (1976) , Hooker (1966)). هذا التأثير الإيجابي للبوتاسيوم لمنع الرقاد

يكون أيضاً صحيحاً لمحاصيل الحبوب الأخرى ((Trolldenier (1969)). إصابات قليلة من البياض الدقيقي Powdery mildew في القمح أيضاً بسبب فطر Erysiphe graminis قد لوحظت في تجربة عوملت بإضافة بوتاسيوم إضافية ((Glynne (1959)). بعض أمراض محاصيل أخرى أقل ظهوراً في النباتات المزودة بالبوتاسيوم مثل البقع البنية Brown spot في الأرز بسبب Ophiobolus miyabeanus والصدأ البني Brown rust في الشعير المصاب بمرض Puccinia hordei والذبول الفيوزريم Fusarium wilt في الموز الناتج من Fusarium oxysporum ((Goss (1968)). حسب ملاحظات Baule (1969) بأن أشجار الغابة المزودة بكميات بوتاسيوم كافية تكون أيضاً أكثر مقاومة للأمراض الفطرية . إن طبيعة سلوك البوتاسيوم للتحكم في خطورة أمراض النبات مازالت غير مفهومة، قد يكون ذا علاقة بشكل جزئي بتأثير البوتاسيوم في تحفيز تطوير سماكة الجدران الخارجية في خلايا البشرة، وبذلك يمنع مهاجمة المرض ((Trolldenier and Zehler (1976)). بالإضافة إلى ما ذُكر فالبوتاسيوم يؤثر كثيراً في أيض النبات ومن هذا فإن بعض أمراض النبات قد تفضل التغيرات في الأيض المرتبط بانخفاض محتوى البوتاسيوم في النبات. لقد وضح Goss (1968) تأثير البوتاسيوم جيداً في مقاومة نباتات المحاصيل للأمراض.

4.3.10 الأسمدة وإضافتها Fertilizers and application

يضاف البوتاسيوم إلى المحاصيل كسماد صِرف أو في مركبات. إن أهم سماد بوتاسي الأوسع انتشاراً والأرخص هو كلوريد البوتاسيوم (KCL) الذي يعرف تجارياً: موريات البوتاسي Muriate of potash وهو يحتوي حوالي 50 % بوتاسيوم (60 % K_2O). إلى

جانب هذه الدرجة العالية من أسمدة البوتاسيوم توجد أيضاً أنواع منخفضة الدرجة من سماد كلوريد البوتاسيوم KCL (41 % K و33% K أو58 % K_2O و40 % K_2O) في الأسواق. هذه الصور تحتوي على كميات كبيرة من كلوريد الصوديوم NaCl وتكون بذلك ملائمة للمحاصيل المحبة للصوديوم Natrophillic (بنجر السكر والكرنب والشوفان).

عند إضافة كلوريد البوتاسيوم KCL للتربة يذوب في محلول التربة ليعطي أيونات بوتاسيوم K^+ وكلوريد CL^-. تحتوي كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) لحد ما على بوتاسيوم أقل يصل إلى حوالي 43 % (52 % K_2O) ويكون أكثر ارتفاعاً في السعر بسبب ارتفاع تكلفة إنتاجه. نترات البوتاسيوم KNO3 وبه 37%K (44 % K_2O و13 %N) وميتافوسفات البوتاسيوم KPO3 وبه 33 % K (40 % K_2O و13 % P) وكلاهما ذو أهمية قليلة نسبياً. كبريتات ماغنيسوم البوتاسيوم Potassium magnesium sulphate (10 % K و12 % K_2O) و3.6 % Mg (6 % MgO) و18% Na (24 % Na_2O) على كمية بوتاسيوم منخفضة وهذا السماد يستعمل في مراعي الأعلاف بدرجة رئيسية في ألمانيا وهولندا.

جميع أسمدة البوتاسيوم تكون قابلة للذوبان في الماء باستثناء ميتافوسفات البوتاسيوم Potassium metaphosphate وسيليكات البوتاسيوم Potassium silicate وبذلك تكون متشابهة جداً من حيث تيسر البوتاسيوم ولهذا فالاختلافات فيما بين هذه الأسمدة ينتج من الأنيونات المصاحبة. إضافة الكبريت والماغنيسوم أو الصوديوم في بعض الحالات قد يكون مفيداً زراعياً ويجب اختيار السماد الملائم. تكون بعض المحاصيل حساسة للكميات العالية من الكلوريد ومن هذه الأنواع: التبغ والعنب وأشجار الفاكهة والقطن وقصب السكر

والبطاطس والطماطم والفراولة والخيار والبصل. إنه من الأفضل معاملة هذه المحاصيل بكبريتات البوتاسيوم. في البطاطس يستخدم الكبريتات بدلاً من الكلوريد ينتج عنه زيادة محتوى النشا (أنظر الجدول (13.5)).

في مقارنة تأثير كلوريد البوتاسيوم مع كبريتات البوتاسيوم على نمو وإنتاج العنب Vitis vinifera الموضحة بدراسة باستخدام محلول مغذي والبيانات موضحة في الجدول (9.10) ((Edelbauer (1976)). التأثير المنخفض للكلوريد له تأثير سلبي أيضاً على محتوى السكر في العصارة في حين يكون محتوى الحامض في العصارة غير متأثر باختلاف نسبة تغذية الكلوريد إلى الكبريتات ((Edelbauer (1977)). لقد وجد Haeder (1975) أن الكلوريد يؤثر في نقل المواد الممثلة ضوئياً Photosynthates من الأجواء العليا للنبات إلى الدرنات وهذا التأثير موضح في الجدول (10.10). هناك تراكم عالٍ نسبياً للمواد الممثلة ضوئياً بالنظائر Labellad في معاملة الكلوريد في السيقان في حين عند معاملة نصف كلوريد ونصف كبريتات فانخفض لحدٍ ما تأثير الكلوريد السلبي لنقل المواد الممثلة ضوئياً.

Table 10.9 Effect of a varying chloride/sulphate nutrition on grape yield (EDELBAUER [1976])

Nutrient solution		Grape yield	Weight of	No. of
KCl, me/l	K_2SO_4, me/l	g/pot	cluster, g	clusters/pot
4.0	–	111	58.9	1.89
2.5	1.5	149	70.5	2.10
1.0	3.0	252	84.2	3.00
–	4.0	254	91.3	2.78

Table 10.10 Effect of chloride and sulphate nutrition on the relative distribution of labelled photosynthates in potato plants, total amount of labelled C = 100% (HAEDER [1975])

Plant organs	Treatment		
	Cl	Cl/SO_4	SO_4
Leaves	37	40	34
Stems	38	29	23
Tubers	21	27	39
Roots	4	4	4

معظم المحاصيل الحقلية لا تكون حساسة للكلوريد، ولهذا السبب تعامل عموماً بموريات البوتاسيوم Muiate of potassium. يتضح أن أشجار جوز الهند ونخيل الزيت تحتاج الكلوريد ((Von UexkÜll (1972)). يستعمل نترات البوتاسيوم بصورة رئيسية لرش أشجار الفاكهة ومحاصيل البستنة. تستعمل ميتافوسفات البوتاسيوم وسيليكات البوتاسيوم تستعمل في الحالات التي يفضل فيها وجوب انخفاض الذوبان من أجل منع التراكيز العالية في منطقة الجذور. كما أنها تستعمل أحياناً للمحاصيل البستانية بسبب ارتفاع الأسعار لأسمدة البوتاسيوم المنخفضة الذوبان.

تضاف عادةً أسمدة البوتاسيوم بطريقة النشر Broadcast ((Reith (1972)) وتضاف فقط إلى الترب المنخفضة في مستوى تيسر البوتاسيوم، ويضاف للترب ذات السعة العالية لتثبيت البوتاسيوم في خطوط Band في منطقة الجذور. باستخدام هذه التقنية فإن سعة تثبيت البوتاسيوم لحجم محدود من التربة يمكن أن تتشبع وخلال هذه المنطقة فإن البوتاسيوم الزائد يصبح ميسراً للامتصاص. لقد لاحظ Welch (1966) أن استجابة الذرة لتسميد البوتاسيوم المضاف في خطوط كان أربعة أضعاف الاستجابة للمعاملات بالنشر. إنه من

الأفضل إضافة أسمدة البوتاسيوم للترب القابلة لتثبيت البوتاسيوم قبل عملية بذر المحصول وأيضاً بعد عملية التسميد بالنثر على التربة من أجل خفض وقت التلامس بين سماد البوتاسيوم والمعادن المثبتة للبوتاسيوم، لأنه كلما زاد وقت التلامس زاد تثبيت سماد البوتاسيوم.

حركة البوتاسيوم الرأسية في مقطع التربة الناعمة القوام يكون محدوداً وهذا يؤثر في تزويد جذور بعض أنواع المحاصيل بسماد البوتاسيوم. لقد وجد Budig (1970) أن العنب كان يعاني نقصاً في البوتاسيوم برغم أن الطبقة السطحية للتربة كانت غنية بالبوتاسيوم الميسر. ولكن الطبقات الأعمق للتربة (40–60سم) التي تسحب منها جذور العنب المغذيات كان فيها مستنفذاً. ومع مثل هذه المحاصيل ينصح بإضافة عميقة لسماد البوتاسيوم.

فقد البوتاسيوم المرتفع بسبب عملية الغسيل يحدث في الترب الرملية، والعضوية ، والترب التي يكون فيها الكؤلنيت هو معدن الطين الرئيسي (أنظر 3.1.6). يجب أن تعالج هذه الترب بسماد بوتاسيوم قبل بذر المحصول أو الزراعة؛ من أجل تجنب الفقد العالي للبوتاسيوم بعملية الغسيل في فترة الأمطار (أمطار الشتاء والفصول الممطرة) ويوصى بتقسيم الإضافة لبعض المحاصيل تحت ظروف الغسيل العالية.

قراءات عامة

General Reading

BUSSLER, W.: Comparative Examinations of Plants Suffering from Potash Deficiency. Verlag Chemie, Weinheim, 1964.

DIEST, A. VAN: Factors affecting the availability of potassium in soils. In: Potassium Research - Review and Trends, p. 75-97, 11th Congr. Int. Potash Inst., Bern (1978).

EVANS, H.J. and SORGER, G.J.: Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol., 17, 47-77 (1966).

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium in Biochemistry and Physiology. 8th Colloquium I.P.I., Berne, 1971.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium in Soil. 9th Colloquium I.P.I., Berne, 1972.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Fertilizer Use and Plant Health, 12th Colloquium !.P.I.. Berne, 1976.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium Research - Review and Trends. 11th Congr. Int. Potash Inst., Bern (1978).

K1LMER, V.J., YOUNTS, S.E. and BRADY, N.C. (eds.): The Role of Potassium in Agriculture. Amer. Soc. Agron., Madison, USA 1968.

LAUCHLI, A. and PFLUGER, R.: Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. 1 n: Potassium Research - Review and Trends, p. 11-163. 11th Congr. Int. Potash Inst., Bern (1978).

MENGEL, K. and KIRKBY, E.A.: Potassium in crop production. Adv. Agron. 33, 59-110 (1980).

SCHROEDER, D.: Structure and weathering of potassium containing minerals. In: Potassium Research - Review and Trends, p. 43-63. 11th Congr. In!. Potash Ins!., Bern (1978).

SEKHON, a.s. (ed.): Potassium in Soils and Crops. Potash Research

Institute of India, New Delhi, 1978.
ULRICH, A. and OHKI, K.: Potassium, In: CHAPMAN, H .D. (ed.). Diagnostic Criteria for Plants and Soils. p. 362-393. Univ. of California, Division of Agricultural Sciences 1966.

الفصل الحادي عشر

الكالسيوم

1.11 كالسيوم التربة: Soil Calcium

1.1.11 المعادن المحتوية للكالسيوم والتجوية

Calcium bearing minerals and weathering

إن متوسط محتوى القشرة الأرضية من الكالسيوم يقدر بحوالي 3.64 % وهو أعلى من معظم مغذيات النبات الأخرى (أنظر الجدول 1.11). يوجد الكالسيوم في التربة في معادن أولية مختلفة وهذه تتضمن سيلكات الألمنيوم سيليكون Al-Si-Silicates الحاملة للكالسيوم مثل الفلدسبار والأنفيبولات Amphiboles وفوسفات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم وهذه الأخيرة على الأخص هي مهمة في التربة الكلسية وتكون عادةً موجودة على شكل كلسايت Calcite ($CaCO_3$) أو دولوميت ($CaCO_3$-$MgCO_3$). توجد في التربة الصور المختلفة للأبتيت Apatite وهي تتضمن معظم الأنواع المعروفة من فوسفات الكالسيوم (أنظر 1.1.9) إن محتوى أنواع الترب المختلفة من الكالسيوم يعتمد إلى حد بعيد على مادة الأصل وعلى الدرجة التي وصلت إليها التجوية والغسيل يؤثر في تطور التربة. الترب المشتقة من الحجر الجيري Limestone أو الطباشير وترب المستنقعات الحديثة التكوين تكون عادة غنية بالكالسيوم مع ارتفاع محتواها من كربونات الكالسيوم. إن محتوى الكالسيوم لمثل هذه الترب يكون كثيراً في مدى 10 – 20 %. الطبقة السطحية للترب التي تطورت على الحجر الجيري يمكن أن تكون منخفضة الكالسيوم عندما يكون الغسيل زائداً.الترب القديمة ذات التجوية المرتفعة والغسيل تحت ظروف رطبة تكون عموماً منخفضة في الكالسيوم. هناك مثالان نموذجان عن مثل هذه الترب وهي البدزول Podzols للمناطق

المعتدلة وترب اللتريت Laterites للمناطق الرطبة الاستوائية .في الظروف الأكثر جفافاً قد يكون محتوى عال للكالسيوم في الطبقة السطحية للتربة على شكل تراكم جبس gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) أنظر الجدول (1.11).

Table 11.1 Mean chemical composition of the earth crust to a depth of 16 km

Element	% weight	% volume	Element	% weight	% volume
O	46.46	91.77	H	0.14	0.06
Si	27.61	0.80	P	0.12	–
Al	8.07	0.76	C	0.09	0.01
Fe	5.06	0.68	Mn	0.09	–
Ca	3.64	1.48	S	0.06	–
Na	2.75	1.60	Cl	0.05	0.04
K	2.58	2.14	Br	0.04	–
Mg	2.07	0.56	F	0.03	–
Ti	0.62	–	All other elements	0.52	0.10

المعادن المحتوية على الكالسيوم تلعب دوراً مهماً في تكوين التربة لذلك فالترب المشتقة من مادة الأصل المحتوية على كالسيوم مثل البازلت basalt ودوليريت dolerite تحتوي على كميات كبيرة من معادن الطين الثانوية .الترب المتطورة من الكلسيت Calcite والدولوميت dolomite والطباشير تتبع أساساً مجموعة ترب رندزينا rendzina.هذه الترب الضحلة (غير العميقة) shallow تحتوي على كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم ولهذا السبب تكون تفاعلاتها قاعدية.إن الرقم الهيدروجيني المرتفع للتربة ووجود الكالسيوم يسهل تكوين معقدات هيومات الكالسيوم Complexes التي يرجع لها اللون الداكن لهذا النوع من الترب.

إن تجوية المعادن الأولية المحتوية على كالسيوم تعتمد بدرجة كبيرة على تكوين أيونات الهيدروجين في التربة. أيونات الهيدروجين وربما أيضاً العوامل المخلبية chelating agents تهاجم الكالسيوم الموجود في التركيب الصفائحي للمعادن وبذلك يسبب تحلل المعدن ويتحرر الكالسيوم. عمليات التجوية هذه مع تحرر الكالسيوم من مواقع التبادل لغرويات التربة بواسطة أيون الهيدروجين هي السبب في غسل كميات كبيرة من الكالسيوم تحت الظروف المناخية الرطبة.إن معدل غسل الكالسيوم يزداد بزيادة هطول الأمطار السنوي ومع المعادن المحتوية على الكالسيوم في التربة .كميات الكالسيوم المغسولة تحت الظروف المعتدلة تكون في مدى 200 إلى 300 كيلوجرام كالسيوم / هـ. (أنظر 3.1.6).

تجوية الكربونات تعتمد بدرجة كبيرة على إنتاج ثاني أكسيد الكربون في التربة.إن معدن الكلسيت يكون قابلاً للذوبان وذوبانه يبدأ فقط عندما يكون تركيز الكالسيوم حوالي 10–15 مليجرام/ لتر (حوالي 0.3 مليمول).في وجود ثاني أكسيد الكربون يتكون بيكربونات الكالسيوم الذي يكون أكثر ذوباناً في الماء.

$$CaCO_3+CO_2+H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

في الترب المحتوية على كربونات كالسيوم حرة يصبح بيكربونات الكالسيوم من الأهمية التي يحدث بوساطتها غسل الكالسيوم كذلك في الترب غير المحتوية على كربونات كالسيوم فبعض بيكربونات الكالسيوم يمكن أن يغسل كما أن البيكربونات يمكن أن تنتج من تحلل حامض الكربونيك الموجود في مياه الأمطار أو حامض الكربونيك الناتج من تنفس

المواد العضوية في التربة. أيونات الهيدروجين (H^+) من التحلل يمكن أن تحرر الكالسيوم (Ca^{+2}) بواسطة التجوية أو بواسطة التبادل لأيون هيدروجين (H^+2) لأيون كالسيوم (Ca^{+2}) واحد من غرويات الطين. هذا التفسير لحدٍ ما يوضح السبب بأن إضافة المادة العضوية للترب يزيد غسل الكالسيوم. خلال تحلل المادة العضوية يكون هناك زيادة في تحرر ثاني أكسيد الكربون وكذلك أيضاً يتكون حامض الكربونيك في التربة.

من الناحية الكمية يظهر أن تكوين النترات NO^-_3 يلعب دوراً أكثر أهمية من البيكربونات HCO^-_3 في توازن الكالسيوم Ca^{+2} الماغنيسوم Mg^{+2} في عملية الغسيل في كثير من الترب ((Laesen and Widdowson (1968). تحت الظروف الطبيعية يكون مصدر النترات بدرجة كبيرة من المادة العضوية للتربة بواسطة عملية المعدنة والنترتة. النترتة هي عملية أكسدة.

$$NH^+_4 + 4O_2 \rightarrow 2NO^-_3 + 4H^+ + 2H_2O2$$

أيون الهيدروجين المنتج بهذه الطريقة يمكن أن يحرر الكالسيوم بوساطة التبادل مع غرويات التربة وهذا يطابق بدقة عملية تحرر الكالسيوم المحفز بأيون الهيدروجين الناتج من تحلل حامض الكربونيك. بذلك فإن عملية النترتة يكون لها التأثير الرئيسي لرفع حموضة التربة وغسل الكالسيوم. تحت الظروف التي يمكن للنترتة أن تحدث فإضافة أسمدة الأمونيوم (NH_4) يكون لها نفس التأثير في زيادة حموضة التربة وغسل الكالسيوم. في العموم فلكل إضافة 100 كيلوجرام كبريتات امونيوم $(NH_4)_2SO_4$ إلى الترب يُزال حوالي 45 كيلوجرام كالسيوم في مياه الصرف (Russel ,1973).

العوامل التي تؤثر في معدل النترتة يمكن أن يؤثر أيضاً في مستويات النترات (NO^-_3) والكالسيوم (Ca^{+2}) في محلول التربة. لقد لاحظ Walker , 1946 أن الزيادات كانت مكافئة تقريباً للمستويات في النترات ومجموع الكالسيوم والماغنيسوم Mg^{+2} في محلول التربة عندما ارتفعت حرارة التربة من ظروف الشتاء إلى الربيع. لقد وجدت نتائج مشابهة لهذه التكافؤات في التحرر ((Larsen and Widdowson, (1968).

إن الانخفاض التدريجي الذي يحدث في كل الترب في المناطق الرطبة تكون أساساً بسبب معدنة النيتروجين العضوي وإلى تكوين حامض الكربونيك كما وضح سابقاً. بعض الترب الغنية بالكبريت العضوي قد تزداد حموضتها نتيجة تكوين حامض الكبريتيك (H_2SO_4) أنظر (1.8) والعمليات الرئيسة لإنتاج هيدروجين التربة موضحة في الشكل 12.2.

إن عملية حموضة التربة لا تكون مقصورة فقط على معدنة النيتروجين أو إضافة الأمونيوم NH_4-N لكن الجذور نفسها يكون لها القدرة على إفراز الهيدروجين وبذلك تساهم في عملية زيادة حموضة التربة. هذا يحدث عنما تمتص النباتات الأمونيوم أو في حال البقوليات أثناء تثبيت النيتروجين. عموماً مع زيادة نمو النبات تحدث عملية زيادة الحموضة في التربة وقد وضح هذا في تجربة Mundel and Krell, 1978 لمدة 17 سنة على تربة عشب طميية منخفضة في قوة الهيدروجين المقاومة للتغير Low H^+ buffer.

خلال هذه الفترة انخفض الرقم الهيدروجيني للتربة من 7 إلى 5 أو 4 في التربة المعاملة بمعدلات مرتفعة من النيتروجين. بالرغم من أن تمت إضافة النيتروجين كطباشير النيتروجين

Nitrochalk وهو سماد يحتوي على كربونات الكالسيوم ويكون بذلك قاعدياً / فالرقم الهيدروجيني للتربة والتشبع القاعدي base saturation لغرويات التربة أنخفض. هذا كان له علاقة بمعدل إضافة السماد كما لوحظ من الشكل (1.11). إن زيادة معدل إضافة النيتروجين يخفض الرقم الهيدروجيني للتربة. لقد أفترض أن هذا الانخفاض في الرقم الهيدروجيني للتربة كان أساساً بسبب تحفيز النترتة بإضافة الأمونيوم (الشكل 1.11).

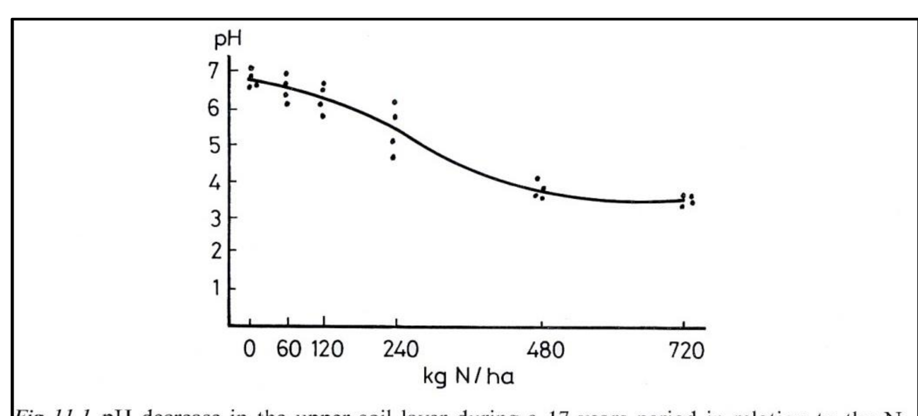


Fig. 11.1 pH decrease in the upper soil layer during a 17 years period in relation to the N fertilizer rate (after MUNDEL and KRELL [1978]).

في السنوات الأخيرة زادت حموضة التربة على المستوى العالمي بسبب الأمطار الحامضية. لقد أدى حرق الوقود إلى تكوين أحماض مثل حامض الكبريتيك والسلفونيك H_2SO_3 التي رجعت من الجو إلى التربة على شكل أمطار. لقد تم تسجيل الرقم الهيدروجيني للمطر الحامضي والذي انخفض إلى 2.4 بتلامس هذه الأمطار الحامضية مع التربة تتحلل معادن التربة وينخفض الرقم الهيدروجيني للتربة وبذلك يجب الأخذ في الإعتبار أن هذه أخطار بيئية.

خلال تكوين التربة تحت ظروف المناخ الرطبة فإن عملية غسيل الكالسيوم مثل النترات والبيكربونات وكذلك بذا بأن عملية تحميض التربة قد ساهمت بدرجة كبيرة في تدهور التربة. هذه العملية الضارة التي تحول التربة الحمضية تدريجياً إلى تربة غير خصبة لا زالت مستمرة في أجزاء كثيرة من العالم. الترب الحامضية لا تملك فقط تركيباً ضعيفاً لكنها منخفضة في محتوى الكالسيوم والماغسيوم وتحتوي كميات كبيرة من الألمنيوم والمنجنيز وهما دائماً سامان للمحاصيل. أنظر (5.2.2).

في تاريخ الزراعة فقط في الوقت الحاضر نسبياً هذا التحلل التدريجي للتربة قد تم إيقافه بإضافة مواد قاعدية للتربة، إضافة الحجر الجيري كان إدخاله رئيسياً في القرن الماضي وما زال مستمراً وقد أدى إلى تحسين حالة خصوبة الكثير من الترب الزراعية. من الواضح أن إضافة مواد قاعدية للتربة هو شيء ضروري لمحافظة على الرقم الهيدروجيني عند مستوى نموذجي. والحجر الجيري هو من أكثر المواد أهمية للاستعمال لهذا الغرض وقد نوقش هذا بدقة في الجزء (3.11).

2.1.11 إدمصاص الكالسيوم ومحلول التربة

Calcium adsorption and soil solution

إلى جانب المعادن الحاملة للكالسيوم كان هناك كمية كبيرة من الكالسيوم تكون مدمصة بوساطة غرويات التربة العضوية وغير العضوية. هذا الكالسيوم القابل للتبادل يكون ذا أهمية خاصة لتركيب التربة كما لخص في (2.2.2) فالكالسيوم يحفز على اتحاد غرويات التربة وبذلك يحسن تركيب التربة وتبقى حبيبات التربة مستقرة. في الترب التي يسود فيها

معادن الطين 1:2 يجب أن يكون بها حوالي 80 % من السعة التبادلية مشبعاً بالكالسيوم من أجل الحفاظ على تركيب مرضٍ للتربة. في الترب المكونة من الكولنيت كأكثر المعادن أهمية يوصى بان يكون التشبع بالكالسيوم منخفضاً ليصل إلى 20 % (Broyer and Stout, 1959).

إن مواقع الادمصاص لغرويات التربة غير العضوية لا تكون ذات انتقائية للكالسيوم حيث أن الشحنة الاستاتيكية الكهربائية Elecrtostatic charge للكالسيوم تكون عالية بسبب تكافؤه الثنائي ووجود غلاف تميؤ رقيق مما يجعل الكالسيوم مدمصاً بقوة نسبياً إلى أنواع مختلفة من معادن الطين في التربة.

إن رابطة إدمصاص الكالسيوم للغرويات العضوية وخاصةً أحماض الهيومك Humic acid تكون أكثر دقة وبذلك في ترب التشرنوزم Chernozems والخث الكلسية Caleureous peat والمحتوية على كربونات الكالسيوم تكون أحماض الهيومك موجودة كهيوميت الكالسيوم بشكل رئيسي. إن الكالسيوم المدمص إلى غرويات التربة يميل للتوازن مع كالسيوم محلول التربة. حسب بحوث Nemeth et al. (1970) على عدد من أنواع التربة تكون هناك علاقة خطية معتدلة لحدٍ ما بين الكالسيوم التبادبي وكالسيوم محلول التربة تحت ظروف التوازن (أنظر الشكل 2.11).

إن معظم الترب غير العضوية تحتوي مستويات عالية وكافية من الكالسيوم في محلول التربة ومواقعها التبادلية تكون مشبعة جيداً بالكالسيوم لدرجة كافية لسدد احتياجات النبات. لذا يتضح أن إضافة الجير Liming يكون الوسيلة الرئيسية لتحسين تركيب التربة

والرقم الهيدروجيني. في ترب الخث الحمضية Soils acid peat الكثيرة الاستخدام في البستنة يكون محتوى الكالسيوم الطبيعي فيها منخفضاً لحد أن النباتات تعاني من نقص الكالسيوم وهنا ينصح بإضافة الأسمدة المحتوية على الكالسيوم.

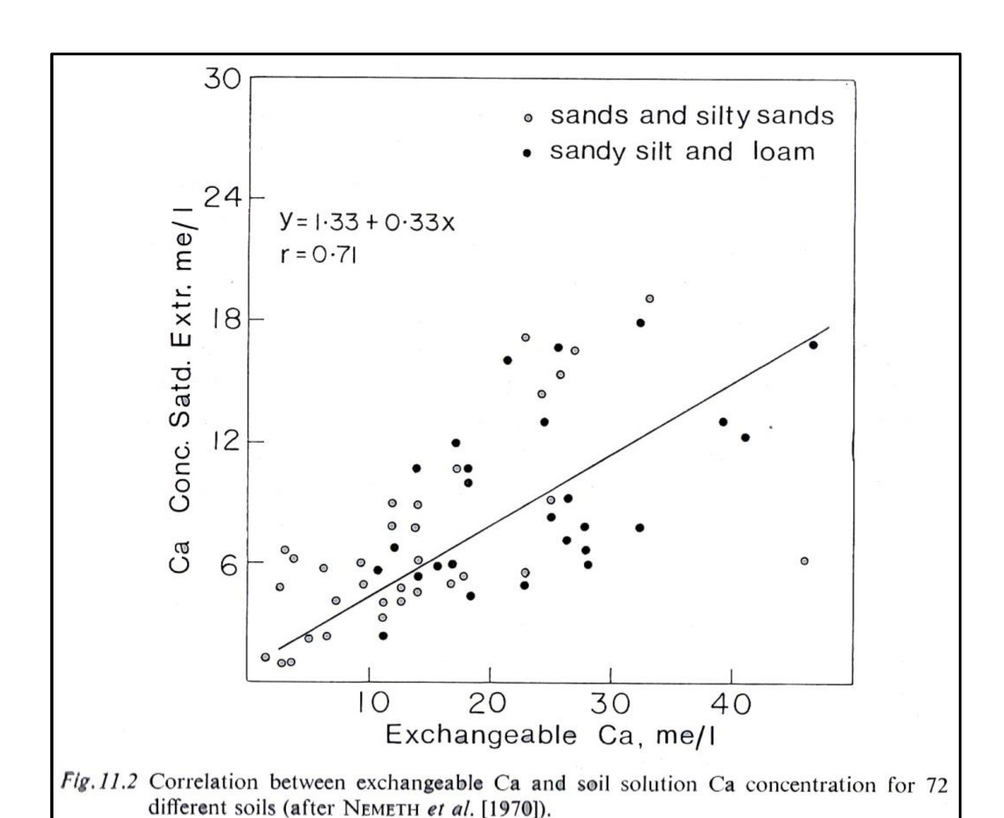


Fig. 11.2 Correlation between exchangeable Ca and soil solution Ca concentration for 72 different soils (after NEMETH *et al.* [1970]).

3.1.11 الاعتبارات البيئية Ecological aspects

الترب تختلف بدرجة كبيرة في رقمها الهيدروجيني ومحتواها من الكالسيوم وهذا على الأخص في الترب غير المزروعة. خلال عملية تطور فإن أنواعاً نباتية تأقلمت مع هذه

الاختلافات في ظروف الرقم الهيدروجيني والكالسيوم. لهذا السبب تحدث اختلافات كبيرة في المقاومة بين أنواع النباتات وحتى في داخل أصناف النوع الواحد. من هذه الناحية قد تنقسم أنواع النباتات إلى نباتات كلسية Calcicoles ونباتات لاكلسية Calcifuges. النباتات الكلسية هي نموذج لمجموعة النباتات التي تعيش في الترب الكلسية في حين النباتات اللاكلسية تنمو في الترب الحامضية الضعيفة في محتواها من الكالسيوم. هناك اختلافات واضحة موجودة في أيض الكالسيوم لهاتين المجموعتين النباتيتين وأن العديد من أنواع النباتات الكلسية تحتوي على مستويات عالية من الكالسيوم في الخلايا البينية Intracellular وتراكيز عالية من المليت Malate في حين النباتات غير الكلسية تكون طبيعياً منخفضة في الكالسيوم المذاب. يمكن أن تختلف أنواع وحتى أصناف النباتات بدرجة كبيرة في مقدرتها على ترسيب الكالسيوم الذي يفترض أن يكون أساساً أوكسلات الكالسيوم Ca-Oxalate.

يمكن أن تتكون بلورات أخرى محتوية على كالسيوم والتي هي حقيقة طبيعية لم تنشأ بعد (Bangerth, 1979) في مقارنة أجراها Clarkson (1965) بين أنواع النباتات الكلسية واللاكلسية من النجيليات Agrostis في الاستجابة للكالسيوم التي تم تنميتها في محلول مغذي رقمه الهيدروجيني 4.5 مع زيادة تراكيز الكالسيوم وبذلك فقد وجد أن نجيل سيتاسي Agrostis setacea على التربة الحامضية المنخفضة في الكالسيوم قد كان تأثيره طفيفاً بزيادة الكالسيوم الإضافي في حين وجد أن النجيل الزاحف Agrostis stolonifera على التربة الكلسية قد استجاب بدرجة كبيرة لمعاملات الكالسيوم العالي. لقد لوحظ أيضاً نفس النموذج في امتصاص الكالسيوم كما هو موضح في الشكل (3.11).

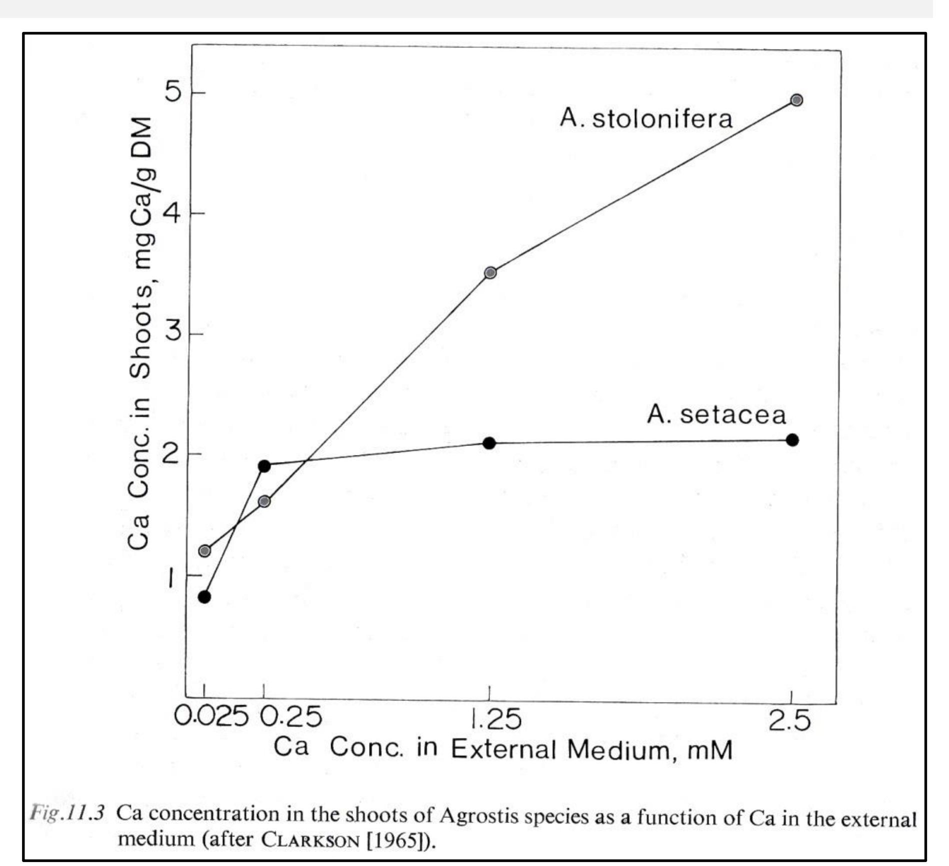


Fig.11.3 Ca concentration in the shoots of Agrostis species as a function of Ca in the external medium (after CLARKSON [1965]).

إن مستوى الكالسيوم في التربة ليس العامل المهم الوحيد في التباين بين النباتات الكلسية واللاكلسية لكن اختلافات أخرى بين الترب الحامضية والكلسية لها عوامل مؤثرة. الترب الكلسية تكون أعلى في الرقم الهيدروجيني ومحتوى الكربونات وغنية بالعناصر المغذية وأن مستوى إذابة المعادن الثقيلة تكون عادةً منخفضة بالإضافة إلى أن بكتيريا النترتة وتثبيت النيتروجين تكون عالية النشاط. بالإضافة إلى تأثيرات مستويات الكالسيوم ذاته فكل هذه العوامل الأخرى لها تأثير على بيئة نمو النباتات في هذه الترب. مثال قدمه Rorison (1960)

يبين حدوث زيادة معنوية في إذابة المعادن الثقيلة تحت الظروف الحامضية. لقد لوحظ أن عدم مقدرة النبات الكلسي سكبيوزا كولومباريا Scabiosa columbaria للنمو تحت الظروف الحامضية الناشئة بدرجة كبيرة من عدم مقاومتها للألمنيوم Al^{+3}. تنمو النباتات بضعف في التربة عند الرقم الهيدروجيني 4.8 لكن في المحاليل المغذية كان هناك اختلاف بسيط في النمو بين الرقم الهيدروجيني 4.8 و7.6 عندما رفعت مستويات الكالسيوم بدون إحداث تغير في الرقم الهيدروجيني بواسطة إضافة كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ فلم يلاحظ تحسن لنمو النبات. إن إضافة الألمنيوم إلى المحلول المغذي المنخفض الرقم الهيدروجيني خفض النمو بنفس طريقة الخفض للنباتات النامية في ترب رقم هيدروجيني مماثل.

هناك مظهر آخر في مشكلة النباتات الكلسية — اللاكلسية وهو مقدراتها المختلفة على استعمال الحديد. لقد فحص Hutchinson (1967) 135 نوعاً مختلف من النباتات من جانب قابليتها لتحفيز الاصفرار بإضافة مستويات عالية من الجير $CaCO_3$ إلى التربة. لقد كان ملاحظاً أن أنواع النباتات الناشئة من الترب الحامضية كانت أكثر حساسية من تلك الناشئة من مواقع كلسية. الإصفرار المحفز بالجير هو خلل فسيولوجي ويتميز بلون أخضر فاتح إلى أصفر على الأوراق الحديثة وينتج من نقص الحديد النشط (أنظر 2.3.13).

لقد لاحظ Hutchinson (1967) أن حساسية أنواع النباتات المتأقلمة على الترب الحامضية للاصفرار المحفز بالجير لم يكن بسبب نقص امتصاص الحديد بالجذور لكن لعدم مقدرة الجذور في أن يؤيض الحديد. الاصفرار المحفز بالجير قد يكون في أحوال كثيرة مشكلة خطيرة في نمو المحاصيل على الترب الكلسية (أنظر 2.3.13). لقد أُلقي الضوء على المظاهر

البيئية لتغذية النبات بمصادر في بحوث (1972) Epstein. هناك كتاب يخص المظاهر البيئية للمعاد المغذية قد ألفه (1969) Rorison.

2.11 الكالسيوم في الفسيولوجي Calcium in physiology

1.2.11 الامتصاص والنقل

تحتوي النباتات الراقية عادةً على كميات كبيرة من الكالسيوم وعموماً تصل إلى حوالي 5–30 مليجرام /جرام مادة جافة. هذا المحتوى العالي من الكالسيوم ناتج أساساً من المستويات المرتفعة في محلول التربة أكثر منه من كفاءة ميكانيكية امتصاص خلايا الجذور. تركيز الكالسيوم في محلول التربة بصورة عامة يكون حوالي 10 أضعاف أعلى من تركيز البوتاسيوم ومعدل امتصاص الكالسيوم يكون عادةً اقل من البوتاسيوم. هذا الجهد المنخفض لامتصاص الكالسيوم يوجد بسبب أن الكالسيوم يمكن امتصاصه فقط بواسطة قمم الجذور الحديثة الموجودة في طبقة القشرة المبطنة لجدران الخلية والتي تكون غير مسبرته (Unsuberized) (1978) Clarkson and Sanderson. إن امتصاص الكالسيوم يمكن أيضاً أن ينخفض تنافسياً بوجود الكاتيونات الأخرى مثل البوتاسيوم الأمونيوم التي تمتصها الجذور بسرعة (أنظر 1.2.12).

محتوى النباتات من الكالسيوم يكون إلى حدٍ كبير متحكماً به وراثياً ويكون تأثيراً طفيفاً بإضافة الكالسيوم في وسط الجذور بشرط أن يكون الكالسيوم ميسراً بكمية كافية لنمو النبات. لقد تم توضيح هذا بوساطة تجارب أجراها Lonergan and Snowball (1969) حيث قارنا محتوى الكالسيوم لعدد 18 نوعاً مختلفاً من النباتات النامية في محلول

مغذي مع تلك النامية في الحقل وكما لوحظ في الشكل (4.11) أنه هناك اختلافات بسيطة في محتوى الكالسيوم لأنواع معينة سواء نما النبات في التربة أو في المحلول المغذي. يوضح الشكل أيضاً أن النباتات أحادية الفلقة تحتوي على كالسيوم أقل من ثنائية الفلقة. درس هذان الباحثان امتصاص المجموعتين باستخدام جريان محلول مغذي به تركيز منخفض من الكالسيوم لكن مع الاحتفاظ بالتزويد المستمر.

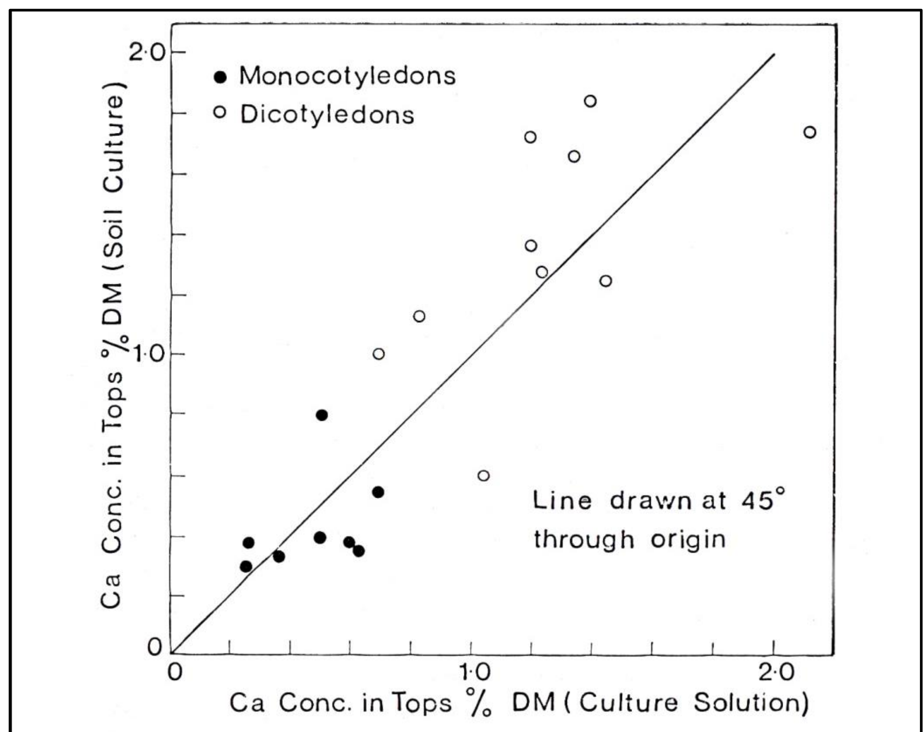


Fig. 11.4 Relation between the Ca content in the tops of 18 plant species grown in soil to the Ca content in the tops of the same plant species grown in culture solution (after LONERAGAN and SNOWBALL [1969]).

النتائج مبينة في الجدول 2.11، إن أقصى معدلات نمو حشيشة الراي Raygrass

قد تم الحصول عليها عند التراكيز المنخفضة للكالسيوم عنها في الطماطم (25 ميكرمول Ca^{+2} مقابل 100 ميكرمول Ca^{+2}). محتوى الكالسيوم المشابه أيضاً أقل بكثير في هذا النبات (0.7% مقابل 1.29%) ودل هذا على احتياجات عالية لنباتات الطماطم. البقوليات والأعشاب الطبية قد بينت أن احتياجاتها أعلى من النجيليات. على العموم سبب الاحتياج العالي لثنائيات الفلقة من الكالسيوم لارتباطه مع ارتفاع سعة الكاتيونات التبادلية للجذور، وفي أجزاء النبات الأخرى ثنائية الفلقة. في خلايا النبات سعة الكاتيونات التبادلية يكون مرجعها بدرجة كبيرة إلى المجموعات الحرة الكربوكسيل Free carboxylic group والبكتينات Pectins (حامض متعدد الجلكتورونك Polygalacturonic acid) لنظام جدران الخلية. في كل من الامتصاص والانتقال فإنه يعتقد الآن أن حركة الكالسيوم المكثفة تكون مرتبطة مع مواقع التبادل Iseman (1970 و(1979) Van De Geijn and Petit. لقد لاحظ Drew and Biddulph (1971) أنه بعد الامتصاص للنظير النشط للكالسيوم 45 (Radioisotope Ca-45). بجذور الفول فإن معظم هذا الكالسيوم كان في صورة تبادلية مستقلة عن الأيض فكان ما وجد متناسقاً Consistent مع نتائج Russel and Clarkson (1976) بأن الكالسيوم يكون مقيداً من قبل البروتوبلازم مع أنشطة سيتوبلازمية بحوالي $10^{-5} - 10^{-3}$ مول. أنظر الجدول (2.11).

Table 11.2 The effect of calcium concentration in nutrient solution (μM) on relative growth rates of plants and calcium content in the shoots. (LONERAGAN *et al.* [1968] and LONERAGAN and SNOWBALL [1969])

Species	Ca supply in μM 0.8	2.5	10	100	1000
	Relative growth rate				
Ryegrass *(Lolium perenne)*	42	100	94	94	93
Tomato *(Lycopersicon esculentum)*	3	19	52	100	80
	mg/g DM				
Ryegrass *(Lolium perenne)*	0.6	0.7	1.5	3.7	10.8
Tomato *(Lycopersicon esculentum)*	2.1	1.3	3.0	12.9	24.0

امتصاص الكالسيوم بجذور النباتات قد درس بتوسع بوساطة Clarkson ببحوث عن مقدرة الأجزاء المختلفة للجذور في الامتصاص والنقل. لقد استعملت طريقة تعرض جزء صغير من جذر من النبات السليم إلى مقدار ضئيل من النظير المشع Radioactive tracer في حين تزود باقي أجزاء الجذر للنبات بالغسل بنفس المحلول. مثل تلك التجربة باستخدام المنطقة تلي قمم الجذور مباشرة. هذا الاختلاف في السلوك بين المغذيات قد تم شرحه على أساس تركيب الجذر وعلى الأخص تطور شريط كسبر Casperian strip (أنظر الشكل(5.4)) عندما يتقدم عمر الجذر يصبح سبرت (فليني) رغم استمرار المحافظة على السمبلاست Symplast خلال جُدر القشرة الداخلية Endodermal بواسطة البلازمودزماتا Plasmodesmata . لقد اعترض Claekson على أن الحركة النصف قطرية للكالسيوم تكون ممنوعة بوساطة القشرة الداخلية المسبرتة والكالسيوم لا ينتقل بكفاءة بالسمبلاست. حركة الكالسيوم من القشرة إلى العمود Stele تكون محددة إلى الأبوبلاست Apoplast أو طريق الفراغ الحر الذي يكون سهل الوصول إليه فقط في حالة الجذور الحديثة

غير المسبرتة. بالمقارنة فإن حركة البوتاسيوم والفوسفات تحدث على طول الجذر ككل من طريق المعطيات تظهر أن امتصاص الكالسيوم هو عملية سلبية (غير حيوية) Passive وكذلك انتقاله داخل النبات وينتقل الكالسيوم في عصارة اللحاء إلى أعلى مع مجرى النتح. لذا ولدرجة كبيرة فإن شدة النتح تتحكم في معدل انتقال الكالسيوم إلى أعلى. هذا قد تم توضيحه في تجارب Michael and Marschner (1962) والتي تم فيها تعريض كل من نباتات الشوفان والخردل الأبيض إلى رطوبة هواء مختلفة. فعندما كانت رطوبة الهواء عالية (ظروف النتح منخفضة) كان هناك انخفاض في انتقال الكالسيوم إلى أجزاء النبات العليا وأنخفض أيضاً معدل امتصاص الكالسيوم. ملاحظات مشابهة قد تم تسجيلها بوساطة Lazaroff and Pitman (1966).

حركة الكالسيوم في أوعية الخشب لا يمكن شرحها ببساطة بناءاً على مفهوم الجريان الكتلي Mass flow حيث أن أيونات الكالسيوم تُمتص بالخلايا المتاخمة وكذلك تُدمص بالأنيونات غير القابلة للانتشار الموجودة في جدران الخشب. حسب دراسات Biddulph et al. (1961) فلأسطوانة الخشب لسيقان الفاصوليا تعمل كعمود تبادل للكالسيوم وحسب البحوث فالجريان الكتلي في الأوعية كان غير كاف لشرح ملاحظة التبادلات الراسخة السريعة الملاحظة لعنصر الكالسيوم النادر Tracer (Ca-45). هذا الاستنتاج قد أيدته نتائج Isermann (1970) و Van De Geign and Petiy (1979) حيث وجدوا أن الكالسيوم المدمص في نسيج الخشب يمكن أن يتبادل بأنواع من الكاتيونات الأخرى ومثل هذا التبادل يسهل انتقال الكالسيوم إلى أعلى.

إن أهمية تفاعلات التبادل في حركة الكالسيوم تكون واضحة خاصةً من دراسات على أجزاء النبات كل على حِدة حيث الارتباط بين شدة النتح وامتصاص الكالسيوم هي غالباً تكون غير متقاربة عنه في حالة النبات ككل. في الأوراق على سبيل المثال يتناقص تدفق الكالسيوم بحدة بعد اكتمال نمو الورقة رغم المحافظة على معدل النتح ثابت (Koontz and Foote (1966)). نفس الوضع يكون صحيحاً في تدفق الكالسيوم داخل الفاكهة. في النباتات النامية هناك دليل لوجود أفضلية انتقال الكالسيوم إلى القمم النامية رغم أن معدل النتح هنا يكون أقل بكثير مما في الأوراق القديمة. يبدو من الأرجح أن تفضيل الحركة يُحفّزه أكسين اندول حامض الخليك Auxin indol acetic acid (IAA) الذي يصنع في القمم النامية Shoot apex. لقد أعتقد بأن (IAA) يحفز ضخ البروتين إلى الخارج خلال النمو في مناطق الاستطالة للقم النامية مما يزيد تكوين مواقع جديدة للتبادل الكاتيوني، وبذلك يجعل القمم النامية مركزاً لتراكم الكالسيوم.

لقد بحث Marchner and Ossenbergneuhaus (1977) هذه العلاقة باستخدام مادة 2، 3، 5 ثالث حامض أيودُوُ بنزويك 2,3,5 tri-iodobenzoic acid (TIBA) التي توقف انتقال أندول حامض الخليك (IAA) ودلت النتائج على وجود صلة سببية للارتباط بين مادة (TABA) التي تحفز عملية تثبيط اندول حامض الخليك (IAA) والتأثير على عملية تثبيط انتقال الكالسيوم إلى القمم النامية. أقترح Bangerth (1979) أن انتقال (IAA) القاعدي يدفع الكالسيوم لينتقل إلى أقصى القمم.

إن معدل انتقال الكالسيوم إلى أسفل يكون منخفضاً جداً وهذا في الحقيقة بسبب

أن الكالسيوم ينتقل في اللحاء بتراكيز ضئيلة جداً ((Wiersum (1979)). لقد لاحظ Rios and Pearson (1964) أن انتقال الكالسيوم إلى أسفل في نباتات القطن كان غير كافٍ لنمو الجذور في محلول مغذٍ ينقصه الكالسيوم كجزء مفصول عن وسط الجذور.

عندما يترسب الكالسيوم في الأوراق القديمة فلا يمكن أن يتحرك إلى القمم النامية وقد تم توضيح ذلك باستخدام التصوير الإشعاعي الذاتي Autoradiographs ((Loneragan and Snowball (1969)). النباتات غير قادرة على استخدام الكالسيوم من الأوراق القديمة لنمو الأنسجة الإنشائية (المرستيمية) حتى عندما كانت أعراض نقص الكالسيوم ملحوظة في القمم النامية؛ مثال آخر تم توضيحه عن ضعف انتقال الكالسيوم في اللحاء بواسطة Marschner and Richter (1974) حيث زودوا أجزاء جذور بادرات ذرة سليمة بنظير الكالسيوم وقد وجد أن هذا الكالسيوم قد انتقل إلى أجزاء النبات العليا وليس إلى قمم الجذور وبعض هذه البيانات لهذه التجربة موضحة في الشكل (5.11).

إن السبب وراء وجود الكالسيوم في عصارة اللحاء بتراكيز ضئيلة جداً هو في الحقيقة غير معروفز لقد بين Van Goor and Wiersma (1973) أن الكالسيوم يكون مترسباً كفوسفات الكالسيوم في عصارة اللحاء وبذلك لا يمكن أن ينتقل إذا كانت هذه هي الحالة فيمكن توقع أن انتقال الفوسفات يجب أن يتعطل أيضاً وكذلك لم يلاحظ أيضاً تراكم فوسفات الكالسيوم في أنسجة اللحاء. لقد أقترح Marschner (1974) أن مستويات الكالسيوم الضئيلة جداً في عصارة اللحاء تنتج من تراكم الكالسيوم في الخلايا المحيطة باللحاء. ولقد اقترح أيضاً إمكانية ضخ خاص للكالسيوم، في أغشية الخلايا المنخولية التي قد

تكون مسؤولة عن إزالة الكالسيوم. لقد افترض (1973) Epstien أن استثناء الكالسيوم من الأنابيب المنخولية يكون جزءاً من تطورها والتي تصل إلى انعدام البنية نسبياً وهذا ما يسمح لتلك الأنابيب المنخولية لنقل المحلول المتدفق.

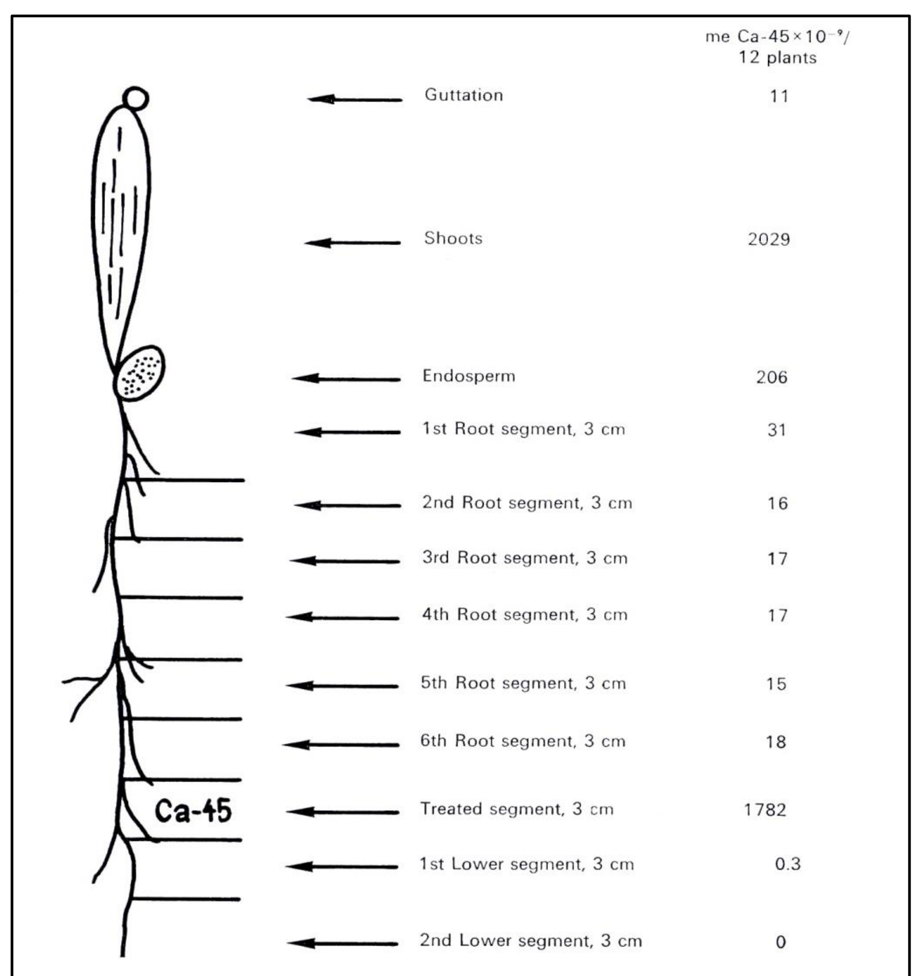


Fig. 11.5 Distribution of Ca-45 in a maize seedling following application to a specific section of the root (after MARSCHNER and RICHTER [1974]).

ونتيجة لانخفاض تركيز الكالسيوم في اللحاء فإن أجزاء النبات التي تكون مزودة بكميات كبيرة بالمغذيات عن طريق عصارة اللحاء تكون ذات محتوى منخفض كثيراً للكالسيوم. من ناحية أخرى فإن محتوى البوتاسيوم لهذه الأجزاء يكون عالياً نسبياً لأن البوتاسيوم يكون موجوداً في عصارة اللحاء بكميات غزيرة. هذه العلاقة تكون دليلاً عندما يقارن محتوى الأوراق من الكالسيوم والبوتاسيوم مع محتوى الفاكهة وأنسجة تخزين الكالسيوم والبوتاسيوم. التزويد الضعيف من الكالسيوم للفواكه وأجزاء التخزين يمكن أن ينتج عنه نقص الكالسيوم في هذه الأنسجة.

2.2.11 الوظائف الكيموحيوية Biochemical functions

إن ضرورة الكالسيوم لنمو النبات يمكن أن توضح بسهولة بوساطة قطع تزويد الجذور بالكالسيوم باطراد فيقل معدل النمو في الحال وبعد بضع أيام تصبح قمم الجذور بنية اللون وتموت تدريجياً. الخلية تحتاج الكالسيوم لغرض الاستطالة والانقسام ((Burström (1968) لكن تفاصيل التفاعلات التي يشترك فيها الكالسيوم في هذه العملية لم تعرف حتى الآن.

هناك أدلة بأن الكالسيوم يكون ذا أهمية أساسية لنفاذية الأغشية والمحافظة على سلامة الخلية. إن أهمية هذا الدور للكالسيوم في امتصاص الأيونات قد نوقش سلفاً (أنظر 7.1.3) في دراسات Roland and Bessoles (1968) باستخدام مجس إلكتروني دقيق Micro-electronprobe وجد أن الكالسيوم يقع في منطقة المحور خاصةً بين السيتوبلازم وجدران الخلية كدليل على ارتفاع الكالسيوم في محتوى البلازمالما Plasmalemma. يمكن

إزالة الكالسيوم من الأغشية بمعاملتها بمادة EDTA التي تزيد نفاذية الأغشية لدرجة أن المركبات العضوية وغير العضوية يمكن أن تنتشر خارج الخلية وقد ينتج عنها ضرر كبير (Van stevenick (1965)). الأغشية التالفة بسبب نقص الكالسيوم مثل تلك المتضررة بمادة EDTA تؤثر سلباً في المحافظة على المركبات الخلوية والقابلة للانتشار (Dickinson (1967)). تصبح الأغشية راشحة Leaky وكلما زاد نقص الكالسيوم عموماً يكون هناك تحلل لتركيب الغشاء (Marianas (1962). في النبات ككل يحدث عدم الانتظام أولاً في الأنسجة الإنشائية (المرستيمية) مثل قمم الجذور ونقاط النمو للأجزاء العليا للنبات وأنسجة التخزين. تنتج مركبات الميلانين البنية Brown melanin من تأكسد متعدد الفينول Polyphenol وتكون مرتبطة بالأنسجة التي تعاني من نقص الكالسيوم. لقد اقترح Dekock et al. (1975) بأن في الأنسجة المحتوية على كميات كافية من الكالسيوم تكون الأكسدة متوقعة بوساطة خلب (ربط) Chelation المركبات الفينولية بالكالسيوم.

إن دور الكالسيوم في استقرار الغشاء ليس فقط مهماً في امتصاص الأيونات (أنظر 7.1.3) لك مهم أيضاً في عمليات الأيض الأخرى. على سبيل المثال مميزات نموذجية للشيخوخة تكون مشابهة لنقص الكالسيوم ويمكن أن تتوقف بالكالسيوم وهذه المميزات تتضمن تحطيم حواجز الخلية وزيادة التنفس، ثم رشح مواد التنفس النامية داخلياً من خلال الفجوة العصارية Vacuole إلى أنزيمات التنفس في السيتوبلازم Bengerth et al. (1972) لقد بين Poovaiah and Leopold (1973) أن الشيخوخة في أوراق الذرة يمكن أن تؤجل إما إضافة الكالسيوم أو السيتوكينين Cytokinin وأن تأثير هذه المواد يكون إضافياً. هذا

الدور للكالسيوم لتعطيل الشيخوخة قد تم بيانه بوضوح في بحوث Poovaiah (1979).

تموت حواف أوراق الفاصوليا Kidney bean بسبب الشيخوخة بموت النسيج الوتاري Pulvinar tissue والذي كان قد تأخر فجأة باستخدام تراكيز عالية من الكالسيوم في الوسط الغذائي. مظهر آخر لأهمية الكالسيوم في استقرار الغشاء قد نوقشت بواسطة Marschner (1978) حيث أقترح بأن انخفاض محتوى الكالسيوم في أجزاء تخزين النبات تحفز ارتفاع نفاذية الغشاء. ويسمح بانتشار المواد المذابة في هذه الأنسجة. هذه لها أهمية واضحة في الفاكهة والأجزاء التخزينية التي تتراكم فيها كميات كبيرة من السكريات من اللحاء.

عملية إنبات ونمو حبوب اللقاح تستجيب بحساسية لتزويد الكالسيوم غير الكافي (Brewbaker and Kwack (1963), Mascarenhas and Machlis (1964)). يُعتقد أن الكالسيوم يكون ضرورياً لتركيب النسيج الخلوي لنواة الخلية Cell nucleus matrix (Wunderlich (1978)). يمكن للكالسيوم تنشيط الأنزيمات وخاصةً تلك التي تكون مرتبطة بالغشاء (Rensing and Cornelius (1980 لقد نشر (Wyn Jones and Lunt (1967 قائمة بالأنزيمات التي يحفزها الكالسيوم.

البحوث التي أجريت في العقد الأول من السبعينيات على أنسجة الحيوان ثم تلتها بحوث حديثة على النباتات أظهرت وجود بروتينات تربط الكالسيوم وخاصةً في الكالموديلين Calmodulin (Ca-M). هذا البروتين يتفاعل عكسياً مع الكالسيوم ليكون معقد كالسيوم–بروتيني والذي يكون نشاطه منتظماً بالتدفق الخلوي للكالسيوم. الكالسيوم المربوط

بالبروتينات يعمل كمستقبلات لكالسيوم لمعادلة تأثير الكالسيوم في التفاعلات الخلوية. لقد تبين أن الكالموديولن يلعب دوراً مركزي في تنظيم الخلية في الحيوان ونفس الشيء يبدو كذلك في حالة النباتات. والموضوع الذي استحوذ على الاهتمام الكبير روجع بوساطة Cheung (1980).

3.2.11 محتويات وأشكال الكالسيوم Calcium forms and contents

يوجد الكالسيوم في أنسجة النبات ككلسيوم حر Ca^{+2} وكالسيوم مدمص لأيونات غير قابلة للانتشار مثل الأيونات الكربوكسيلية Carboxylic والمفسفرة Phosphorylic ومجموعات الهيدروكسيل الفينولية Phenolic hydroxyl groups. إنه موجود أيضاً في أوكسالات الكالسيوم Ca oxalates والكربونات والفوسفات. هذه المركبات توجد دائماً كرواسب في فجوات الخلية. في البذور يوجد الكالسيوم بصفة سائدة كملح حامض أنوسيتدل سداسي الفوسفوريك Inositol hexaphosphoric acid وهو حامض الفتيك Phytic acid وكما تم توضيحه يكون الكالسيوم في جدار الخلية مرتبطاً مع مجموعات الكربوكسيل الحر للبكتينات ويشبع معظم هذا الموقع.

إن العلاقة المتبادلة بين الكالسيوم الحر والمرتبط له أهمية في نضج الفاكهة وقد تعتبر هذه العملية حالة خاصة من الشيخوخة وتكون مصحوبة بزيادة إنتاج الأثيلين Ethylene. إن بناء الأثيلين يحكمه نظام أنزيمي في معقد غشاء جدار الخلية (أي أنه خارج السيتوبلازم). هذا الإنتاج مع الزيادة في نفاذية الغشاء يكون كنتيجة لهبوط النشاط الفسيولوجي للكالسيوم الذي يمكن اعتباره من الخطوات الضرورية في نضج الفواكه. بالإضافة إلى أن نضج الفواكه

يحتاج إلى إزالة الكالسيوم من الصفائح الوسطى والتي تكون لها علاقة مع زيادة في نشاط أنزيم البوليجالكتورونيز Polygalaucturonase الذي يكون مسؤولاً عن إذابة بكتينات الصفائح الوسطى وتلييم الأنسجة. إن ارتباط الكالسيوم بالنضج مبين في الجدول (3.11) والذي يقارن محتوى الكالسيوم في صنفين من الطماطم أحدهما عادي (روتجرز Rutgers) والآخر صنف مُطفر غير ناضج (رن Rin) عند ثلاثة أطوار بعد الإزهار. من هذا الجدول يتضح أن الصنف الطبيعي روتجرز بقي فيه محتوى الكالسيوم شبه ثابت خلال فترة النضج لكن كان هناك تحول ملحوظ للكالسيوم المرتبط إلى الكالسيوم الذائب. في حالة صنف رن المطفر غير الناضج. فإن محتوى الكالسيوم زاد فجأة كما زاد جزء الكالسيوم المرتبط. هذه النتائج تتواكب مع ملاحظات Lougheed et al. (1979) بان نضج الفاكهة ينخفض بإضافة الكالسيوم ويحفز بنقصه (Faust and Shear (1969)). وقد يُقال أن انخفاض تركيز الكاليسوم في عصارة اللحاء يحافظ على مستوى منخفض للكالسيوم في الفواكه وأجزاء التخزين، وبذلك تحدث عملية النضج.

Table 11.3 Calcium content in non ripening rin and Normal Rutgers pericarp tissue at different stages of fruit development (Poovaiah [1979])

Days after anthesis	Soluble Ca, μg Ca in g DM		Bound Ca, μg Ca in g DM	
	rin	Rutgers	rin	Rutgers
40	299	349	530	562
50	412	602	667	246
60	492	622	1357	291

في النباتات التي تكون ضعيفة التزود بالكالسيوم، فإن نسبة عالية من كالسيوم

النبات (أكثر من 50%) قد توجد في جزء من جدار الخلية كأوكسلات Oxalate (Armstrong and Kirkby (1979), Mostafa and Ulrich (1976)) تحت مثل هذه الظروف قد تتوقف وظائف الكالسيوم الضرورية مثل استقرار الغشاء. في دراسة التركيب الوراثي للتبغ قد وجد Brumagan and Hiatt (1967) أن مقدرة هذه النباتات في اختلافات استجابتها لنقص الكالسيوم كانت على الأقل في جزء ذي علاقة باختلافات تكوين الأوكسلات.

4.2.11 نقص الكالسيوم والتشوهات Calcium deficiency and disorders

كما شُرح سابقاً" بأن نقص الكالسيوم يكون مميزاً بانخفاض النمو في الأنسجة الإنشائية. يمكن أن يلاحظ النقص أولاً في القمم النامية والوراق الحديثة حيث يظهر تشوه واصفرار وموت موضعي عند مراحل أكثر تطوراً على حواف الورقة وتصبح الأنسجة المتأثرة لينة بسبب تحلل جدران الخلية. تتراكم مواد بنية في الفراغات البينية للخلايا وكذلك أيضاً في الأنسجة الوعائية والتي بدورها تؤثر في آلية الانتقال ((Bussler (1963)).

نقص الكالسيوم المطلق كما شرح أعلاه نادر نسبياً حيث أن معظم معادن الترب تكون غنية في الكالسيوم الميسر.

نقص الكالسيوم غير المباشر ينتج من تزود الكالسيوم غير الكامل للثمار وأنسجة التخزين، وبذلك تكون الملاحظة أكثر الأحيان اضطراب النظام. وضح Shear (1975) قائمة 35 حالة خلل نظام في الفواكه والخضراوات. في التفاح يسمى المرض بالنقرة المرة Bitter pit حيث أن كل السطح للتفاحة يكون منقراً ببقع للأنسجة الميتة البنية اللون

(اللوحة 1.11). في الطماطم يعرف المرض بعفن نهاية الزهرة Blossom-end rot ويكون مميزاً بالتحلل الخلوي عند النهاية القصوى للثمرة (اللوحة 1.11). خلل التشوه بسبب نقص الكالسيوم يظهر في البطيخ.

إن نقص الكالسيوم في الخضراوات مثل مرض القلب الأسود في الكرافس واللون البني الداخلي لكرنب يروكسل Brasica oleracea (Brsseles sprouts) وعفن نهاية الفلفل وفجوات تبقع الجزر التي وصف في بحث Maynard (1979). كل هذه الأنسجة تزود بالكالسيوم بوساطة جريان النتح الذي ينقل الكالسيوم مباشرة من محلول الترب. إذا كانت عصارة الخشب منخفضة في تركيز الكالسيوم أو أن معدل النتح للثمار ضعيف كما يحدث تحت الظروف الرطبة، فإن مستويات غير كافية قد تزود بها الثمار وقد ينتج ظهور أعراض النقص. نقل الكالسيوم في عصارة الخشب قد يقل عن التغذية بالأمونيوم، وعند انخفاض الماء في التربة وعند ارتفاع تركيز الأملاح في التربة.

هذه العوامل قد وجد أنها تسهل وجود مرض تعفن نهاية الأزهار Blossom-end rot في الطماطم. يظهر أن الكالسيوم ينتقل فقط من محلول التربة إلى أجزاء النبات العليا خلال قمم الجذور ((Russel and Clarkson (1976)). أي عامل يمنع نمو جذور جديدة (ضعف التهوية وانخفاض الحرارة إلى أخره) قد يكون من المتوقع أن يمنع امتصاص الكالسيوم وبذلك يؤدي إلى ظهور أعراض النقص. هذا قد يرجع إليه ملاحظة أن التشوه ذو العلاقة بالكالسيوم كثيراً ما يحدث في الترب المزودة بكميات كالسيوم كافية ويظهر أن المناخ هو العامل المؤثر (Kirkby (1979), Bangerth (1979), Scaifead clarkson

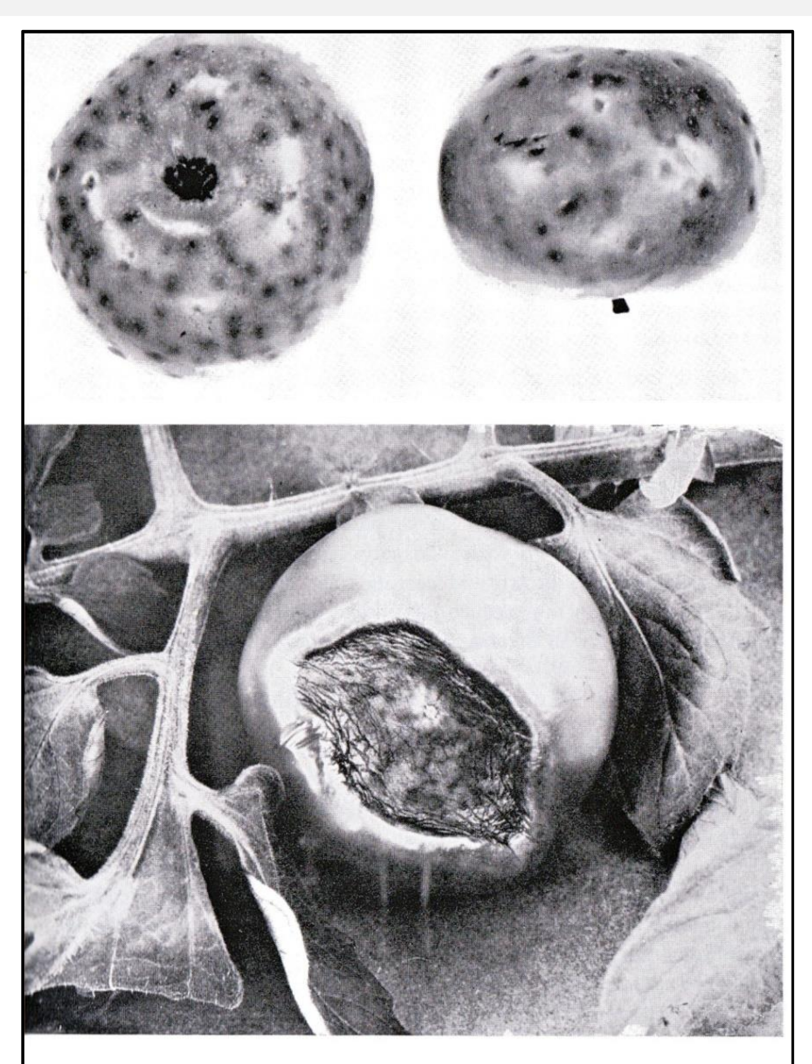


Plate 11.1 Upper part, bitter pit in apples, by courtesy of ***U.S. Dep. of Agric***. Beltsville. (Photo: SHEAR)
Lower part, severe blossom end rot in tomato by courtesy of the ***Macaulay Institute for Soil Research***, Aberdeen, Scotland. (Photo: DEKOCK)

(1978)).

إن أهمية المحافظة على مستوى كافٍ من الكالسيوم في عصارة الخشب تكون

واضحة جداً من نتائج Chiu and Bould (1976) التي لوحظ فيها أن نقص الكالسيوم خلال مرحلة تكوين الثمار للطماطم سبب عفن نهاية الأزهار على الثمار، وبذا يتضح أن امتصاص الكالسيوم قبل تكوين الثمار لم يكن بالتالي ميسراً لتطور تكوين الثمار. النتائج

أعطت دليلاً عن عدم حركة الكالسيوم في اللحاء بالإضافة أن تحليل الكالسيوم في الأوراق لا يمكن الاعتماد عليه لتوقع نقص كالسيوم في الفواكه. إن ظهور اضطرابات النظام الفسيولوجي المشروحة أعلاه يعتمد بدرجة كبيرة على مستويات الكالسيوم في الفواكه. في التفاح على سبيل المثال وجدت علاقة سلبية بين حدوث النقرة المرة ومحتوى الكالسيوم (Scarples (1968).

الثمار وأنسجة التخزين النامية في التربة مثل الكاكاوية والبطاطس وأبصال الكرافس Celery bulbs لا تكون مزودة بجريان النتح ولهذا السبب فيجب امتصاص الكالسيوم مباشرة من وسط التربة. حسب بحوث Skelton and Shear (1971) فمحور أنتاج الكاكاوية Arachis hypogea يعتمد بدرجة كبيرة على تيسر الكالسيوم في التربة. تزويد الكالسيوم غير الكافي بسبب مرض القلب الأسود في الكرافس. الدور الذي يلعبه الكالسيوم في فسيولوجي النبات وأهميته لإنتاج المحاصيل قد بينه Marschner (1974), Foy (1974), Bengerth (1979). لقد بين Malavolta et al. (1979) أهمية الكالسيوم في علاقات التربة بالنبات في الظروف الاستوائية وشبه الاستوائية.

5.2.11 الأسترنشيوم Strontium

الكالسيوم والاسترنشيوم Sr متقاربين كيميائياً وقد بينا سلوكاً كيمائي متشابه في

النباتات. إن امتصاص وتوزيع العنصرين في النباتات يكون متشابه لكن ليس متطابقاً (Hutchin and Vanghan (1968)).

على سبيل المثال في تجارب على البازلاء Pisum sativum قد وجد Myttenaere (1964) أن الاسترنشيوم يكون مترسباً بدرجة أكبر من الكالسيوم في جدران الخلية. الشيء المهم الرئيسي أن الاسترنشيوم لا يمكن أن يحل محل الكالسيوم في العمليات الفسيولوجية. المحتوى العالي من الاسترنشيوم في أنسجة النبات يكون ساماً. أعراض السمية تظهر أولاً على الأوراق القديمة والتي تصبح بنية والموت الموضعي للأنسجة. امتصاص الاسترنشيوم يعوق بواسطة الكالسيوم وبذلك فإضافة الجير يمكن أن يخفض امتصاص الاسترنشيوم (Reissing (1962)). من ناحية أخرى فالنباتات ذات المحتوى المنخفض من الكالسيوم تمتص الاسترنشيوم بمعدل عالٍ (Balear et al. (1969)).

3.11 إضافة الجير والكالسيوم في تغذية المحاصيل

Liming and calcium in crop nutrition

1.3.11 تأثير الرقم الهيدروجيني وتأثير الكالسيوم

The PH effect and calcium effect

إن إضافة المواد الجيرية مثل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وأكسيد الكالسيوم CaO أو هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ للتربة له تأثيران أولهما تزويد التربة بالكالسيوم، والثاني تحفيز زيادة الرقم الهيدروجيني للتربة بسبب التفاعل القاعدي لهذه المركبات. إن عملية تحميض Acidification التربة كما تم توضيحه في بداية هذا الفصل- وفقدان الكالسيوم بالغسيل يكونان متوازيين تحت ظروف المناخ الرطب. لذلك فالتفاعل القاعدي للمادة الجيرية

يعادل حموضة التربة بوساطة المواد الجيرية يمكن أيضاً أن يحث التحفيز بمركبات أخرى ذات طبيعة قاعدية مثل كربونات البوتاسيوم K_2CO_3 أو كربونات الصوديوم Na_2CO_3 هذه المركبات لا تكون ذات أهمية لتحسين الرقم الهيدروجيني للترب الحامضية تحت الظروف التطبيقية. إن تأثيرات الرقم الهيدروجيني للتربة على إنتاج المحاصيل قد تختلف بدرجة كبيرة للمحاصيل المختلفة (أنظر الجدول 10.2). أجريت تجارب لمدة 50 سنة في ألمانيا على تربة رملية وقد وجد Köhn (1976) أن ترتيب المحاصيل الحساسة للإنتاج في حالة عدم إضافة بنجر السكر> الشعير > الشوفان > القمح > البطاطس. بالمقارنة فقد أعطى الجاودار Rye أعلى إنتاج في المربعات غير المعاملة بالجير.

في الترب التي زيادة رقمها الهيدروجيني غير مرغوب فيه لكن الاحتياج للكالسيوم يكون لتحسين تركيب التربة ويجب إضافة أملاح كالسيوم متعادلة. مثل تلك الترب تكون متأثرة أساساً بالأملاح ومتميزة بقيم الرقم الهيدروجيني المتعادلة إلى القاعدية وإفراط في الصوديوم الذي يكون مدمصاً بغرويات التربة (أنظر الجدول (4.2) و2.2.2). إن إضافة أملاح الكالسيوم المتعادلة ينتج عنه إحلال للصوديوم المدمص بالكالسيوم، وبذلك يزداد تشبع غرويات التربة بالكالسيوم وتحفز الترسيب Flocculation. إن من أهم أملاح الكالسيوم المتعادلة المستخدمة في الترب المتأثرة بالأملاح هو الجبس $CaSO_4.2H_2O$. تعتمد الكمية المضافة على درجة الملوحة وفي العموم تكون الكميات حوالي 15–40 طن / هـ وفي الشكل (6.11) يبين تأثير معاملتين من الجبس قد أضيفتا إلى تربة ملحية (1971) Raikov.

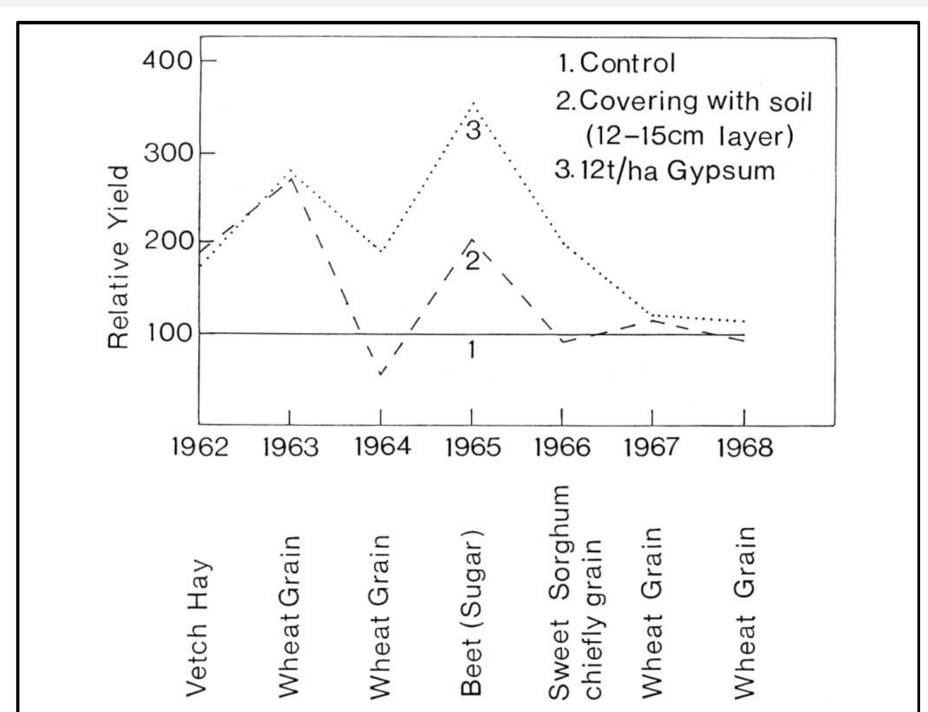


Fig. 11.6 Effect of various amelioration measures applied to a saline soil on the relative yields of various crops (after RAIKOV [1971]).

في إحدى المعاملتين أضيف الجبس وفي الأخرى قد تم تغطية التربة الملحية بطبقة تربة غير ملحية . لقد تم مقارنة إنتاج المحاصيل لفترة عدة سنوات مع معاملة المراقبة فكان الإنتاج النسبي ممثلاً بالخط الذي قيمته 100 في (الشكل 6.11) وهو موازٍ للإحداثي السيني. معاملة الجبس أعطت ارتفاعاً كبيراً في الإنتاج بالمقارنة بمعاملة تغطية التربة الباهظة التكاليف. إن معاملة الجبس حسنت أيضاً بناء التربة وأصبحت التربة المعاملة داكنة اللون مقارنةً مع التربة غير المعاملة بالإضافة إلى ذلك كانت التربة المضاف لها الجبس سهلة الحرث ولم تتشقق ولم تحتفظ بالماء على السطح. إن إضافة الجبس لا يعزو إليه كإضافة الجير لكن تأثير

الكالسيوم يكون متشابهاً في كلا المعاملتين وإضافة الجير والجبس تكون متقاربة التأثير بدرجة كبيرة.

2.3.11 المواد الجيرية Liming materials

يبين الجدول (4.11) أهم المواد الجيرية. الكروبنات تكون ببساطة حجراً جيرياً مطحوناً أو طباشيراً. إن حرق كربونات الكالسيوم عند درجة حرارة 1100 مئوية ينتج عنه تحلل حراري:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

وبذلك ينتج الجير المحروق بهذه الطريقة. أكسيد الكالسيوم CaO المتكون يتفاعل مباشرة مع الماء وبذلك يتكون هيدروكسيد الكالسيوم (الجير المتميء أو الجير المطفأ) وبالتلامس مع ثاني أكسيد الكربون تتكون كربونات الكالسيوم.

Table 11.4 Liming materials

Liming Material	Formula	Neutralizing value in CaO
Chalk or limestone........................	$CaCO_3$	50% CaO
Slaked lime	$Ca(OH)_2$	70% CaO
Burnt lime	CaO	85% CaO

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

وبذلك عندما يتعرض الجير المتميء للهواء الجوي لمدة طويلة من الوقت فإنه يتحول تدريجياً إلى كربونات كالسيوم بثاني أكسيد الكربون الجوي.

المواد الجيرية أكثر الأحيان تحتوي أيضاً كميات كبيرة من الماغنيسيوم والكالسيوم. جير الماغنيسيوم المحروق مثلاً يتكون أساساً من أكسيد الكالسيوم CaO وأكسيد الماغنسيوم MgO ويحتوي على أكثر من 5.5 % ماغنسيوم. حجر جير الماغنسيوم المطحون يكون خليطاً من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنيسيوم ومحتوى الماغنسيوم حوالي3 %. هذه المواد المحتوية الماغنسيوم تكون مستخدمة خاصةً في الترب الحامضية التي تحتاج إلى جير، وبها نقص ماغنسيوم.

إن قيمة إضافة المواد الجيرية يعتمد على قيمتها التعادلية التي يعبر عنها بمكافئات أكسيد الكالسيوم CaO فوزن 100 كيلوجرام من كربونات الكالسيوم لها تأثير يعادل حوالي 56 كيلوجرام أكسيد كالسيوم. وبذلك فإن قيمة التعادل لوزن 100 كيلوجرام كربونات الكالسيوم يكون هذا الوزن هو 56 كيلوجرام أكسيد الكالسيوم في حين 100 كيلوجرام هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ لها قيمة تعادل 76 أكسيد الكالسيوم، إن القيمة التعادلية تكون ذات علاقة بكمية الكربونات أو الأكسيد الموجود في المواد الجيرية $MgCO_3$ أو MgO والتي تساهم أيضاً في كفاءة التعادل. على العموم كل الأكاسيد والكربونات وحتى السيليكات تكون ذات تفاعل قاعدي؛ ولهذا السبب فإن سيليكات الكالسيوم الموجودة في الفوسفات كبقايا خام مترسب لها تأثير متعادل (أنظر 2.3.9)، وبذلك تكون لها بعض الأهمية للتحكم في الرقم الهيدروجيني للتربة. في تجربة طويلة الأمد قد وجد Schmitt and Brauer (1969) أن القطع التي أضيف لها بقايا خام الفوسفات بانتظام قد انخفض الرقم الهيدروجيني قليلاً في حين أن القطع التي عوملت بكميات مكافئة من أسمدة الفوسفات

الأخرى فقد انخفض الرقم الهيدروجيني من 6.5 إلى 5.4 في فترة أكثر من 10 سنوات. نتائج مشابهة قد تحصل عليها Roscoe (1960) تستعمل بعض منتجات الفضلات كمواد جيرية وهذه المواد تكون الكربونات بشكل أساسي. الفضلات الناتجة من مصانع السكر لها قيمة تعادلية تساوي حوالي 20 من CaO.

3.2.11 إضافة الجير والتفاعل في التربة

Lime application and reaction in the soil

كما ذكر سابقاً فإن أكسيد الكالسيوم يتفاعل بسرعة مع الماء لتكوين هيدروكسيد الكالسيوم الذي يعادل مباشرة الهيدروجين الحر لمحلول التربة. بسبب ارتفاع ذوبان أكسيد الكالسيوم وهيدروكسيده فكلا المركبين يكونان سريع التأثير مقارنة بكربونات الكالسيوم. لذلك فإذا كان الاحتياج لتغيير سريع في الرقم الهيدروجيني للتربة أو في حالة أن تكون تفاعلات التربة بطيئة كما في الترب الرطبة والبادرة فينصح بإضافة أكسيد الكالسيوم أو الجير المطفأ $Ca(OH)_2$ لأن كربونات الكالسيوم تفاعلها بطيء. تحت الظروف الحامضية القوية تذوب كربونات الكالسيوم بسرعة نسبياً لتعادل هيدروجين التربة.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + 2\,H^+ \rightarrow Ca^{2+} + 2\,H_2O$$
$$\text{Net: } CaO + 2\,H^+ \rightarrow Ca^{2+} + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{+2} + H_2O + CO_2$$

تحت الظروف الحامضية الضعيفة أو حتى تحت الظروف المتعادلة فإن وجود أكسيد

الكالسيوم يسهل ذوبان كربونات الكالسيوم لتتكون بيكربونات الكالسيوم التي تعادل هيدروجين التربة:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$
$$Ca(HCO_3)_2 + 2\,H^+ \rightarrow Ca^{2+} + 2\,CO_2 + 2\,H_2O$$
$$\text{Net: } CaCO_3 + 2\,H^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$$

إن سيليكات الكالسيوم الموجودة في بقايا الفوسفات الخام القاعدية والفوسفات المترسبة تكون أبطأ في تعادلها من كربونات الكالسيوم.

$$CaSiO3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{+2} + SiO_2 + H_2O$$

يعتمد معدل تحلل المواد الجيرية على حجم الحبيبات الذي كلما أصبح ناعماً يكون تفاعلها أسرع من المواد الخشنة بسبب كبر المساحة السطحية (Barrows et al. (1968)).

إن معدلات إضافة المواد الجيرية عموماً يكون بما يقرب من حوالي 3–4 طن أكسيد كالسيوم أو 4–6 طن كربونات كالسيوم للهكتار تجهز خلال فترة زمنية تمتد من 3–5 سنوات. الكميات المطلوبة لا تعتمد فقط على الرقم الهيدروجيني للتربة (الحموضة الحقيقة Actual acidity) لكن أيضاً على محتوى الهيدروجين المدمص على غرويات التربة (الحموضة الكامنة Potential acidity). هذه العلاقة بين كمية الحجر الجيري المطلوب للحصول على مستويات معينة للرقم الهيدروجيني في مختلف الترب وهذا موضح في الشكل (7.11) (Peech (1961)).

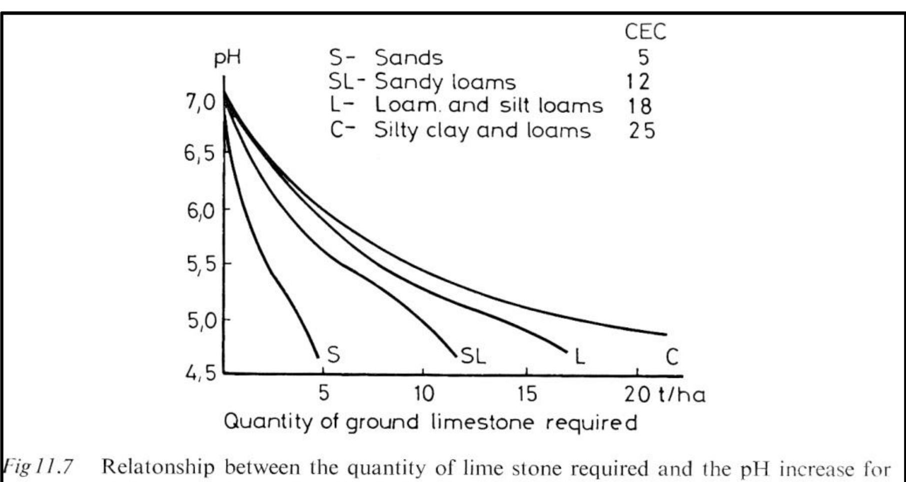


Fig 11.7 Relatonship between the quantity of lime stone required and the pH increase for various soil classes. (modified after PEECH [1961]).

إنه يكون دليلاً لتصحيح الرقم الهيدروجيني للترب الحامضية الثقيلة (المرتفعة السعة النبادلية الكاتيونية CEC)، فيجب إضافة كميات كبيرة من الحجر الجيري على الأخص.

يمكن إضافة الجير في أي وقت من السنة مع توفير رطوبة التربة حتى يكون مؤثراً. لا يجب إضافة الجير مع الأسمدة المحتوية على الأمونيوم حيث تغيير الرقم الهيدروجيني للتربة يؤدي إلى تحول الأمونيوم إلى الأمونيا التي يفقد جزء منها بالتطاير.

$$NH^{+}_{4} + OH^{-} \leftrightarrows H_2O + NH_3$$

أنواع وأصناف الترب تختلف في مستوى الرقم الهيدروجيني الأمثل الذي يجب عنده الزراعة (أنظر 5.2.2) عموماً كلما زاد محتوى الطين في التربة ارتفع الرقم الهيدروجيني الأمثل.

حسب Schachtschable (1967) فإن الترب الغنية بمعادن الطين 1:2 يجب إضافة الجير إلى المستوى الذي يبقي بعض من كربونات الكالسيوم في التربة للمحافظة على تركيب جيد للتربة.

رفع الرقم الهيدروجيني للترب الحامضية تكون أيضاً وسيلة لتوفير ظروف أكثر ملائمة لبكتيريا التربة. هذا قد يؤثر على عملية مختلفة مثل تثبيت النيتروجين بالأحياء الدقيقة ودنترة النترات ومعدنة نيتروجين التربة.

لقد وضح Kanze and Bartels (1975) بأن الرقم الهيدروجيني للتربة المنخفض جداً ينتج من نقص النيتروجين في المراعي نتيجة توقف عملية معدنة النيتروجين للمادة العضوية في ترب الخث Peat. إن تحول الرقم الهيدروجيني من الظروف الحامضية يكون تكراراً مصاحباً. بمعدل تحفيز في تحلل المادة العضوية للتربة بفعل الأحياء الدقيقة. تلعب المادة العضوية دوراً ضرورياً في الترب الرملية في حفظ الماء ولهذا السبب فإن الرقم الهيدروجيني لهذه الترب لا يجب أن يكون عالياً جداً من أجل تحلل المادة العضوية المفرط. الرقم الهيدروجيني للتربة له تأثير كبير على تيسر المغذيات المختلفة في التربة (أنظر 5.2.2).

إن إضافة الجير لا تلعب دوراً في تحسين الأرض الزراعية فقط، بل يكون لها أيضاً أهمية في إعادة زراعة الأراضي المهملة (المتروكة) Waste heaps. لقد وجد Davison and Jefferies (1966) في تجربة على مواد أساسية Substrate material من ترب بقايا لمنجم فحم بأن إضافة الجير مع إضافة السماد المعدني ينتج عنه استجابة عالية في نمو النجيل Agrostis tenuis. لقد بين الباحثون أن الزيادة في الرقم الهيدروجيني حفز تثبيت المعادن الثقيلة الموجودة بكميات وفيرة من مواد مهملة Waste material هذه والتي تكون سامة للنبات Phytotoxic تحت ظروف الرقم الهيدروجيني المنخفض.

قراءات عامة

General Reading

BANGERTH, F.: Calcium-related physiological disorders of plants. Ann. Rev. Phytopathology 17,97-122 (1979).

BURSTROM, H.G.: Calcium and plant growth. BioI. Rev. 43, 287-316 (1968).

CHAPMAN, H.D.: Calcium. In: CHAPMAN, H.D. (ed.): Diagnostic Criteria for Plants and Soils. p. 65-92. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

Foy, C.D.: Effect of calcium availability on plant growth, In: CARSON, E.W. (ed.): The Plant Root and its Environment, p. 565-600. University Press of Virginia, Charlottesville, U.S.A., 1974.

LONEHAGAN, J. F., ROWLAND, I.C., ROBSON, A.D. and SNOWBALL, K.: The calcium nutrition of plants. Proc. 11th Int. Grasslands Congr. (Surfers Paradise Aust.), p. 358-367 (1970)

I.ONERAGAN, J. F. and SNOWBALL, K.: Calcium requirements of plants. Aust. J. Agric. Res. 20, 465-478 (1969).

MARSCHNER, H.: Calcium nutrition of higher plants. Neth. J. Agric. Sci. 22, 275-282 (1974).

MAYNARD, D.N.: Nutritional disorders of vegetable crops: A review. Journal of Plant Nutrition I, 1-23 (1979).

SHFAR. C.B. (ed.): International symposium on calcium nutrition of economic crops. In: Co III Ill. in Soil Sci and Plant Analysis 10, 1-501 (1979).

SIMON, E. W.: The symptoms of calcium deficiency in plants. New Phytol. 80, 1-15 (1978) WYN JONES, R.G. and LUNT, O.R.: The function of calcium in plants. Bot. Rev. 33, 407-426 (1967).

الفصل الثاني عشر

الماغنسيوم

1.12 ماغنسيوم التربة Soil Magnesium

إن محتوى معظم الترب من الماغنسيوم يتراوح عموماً ما بين 0.05 % للترب الرملية و 0.5 % للترب الطينية. توجد مستويات عالية في الترب الطينية لأن الماغنسيوم يكون موجوداً في معادن الحديد الماغنسيومي Ferromagnesian السهلة التجوية مثل البيوتيت Biotit والسربنتين Serpentine والهورنبلند Hornblende والألوفين Olivine. بالإضافة إلى ذلك فالماغنسيوم يوجد في معادن الطين الثانوية مثل الكلوريت Chlorite والفرميوكليت Vermiculite والأليت Illite والمونتمورلنيت Montmorillonite؛ وبعض الترب تحتوي على ماغنسيوم في صورة كربونات الماغنسيوم $MgCO_3$ أو الدولوميت Dolomite ($CaCO_3.MgCO_3$). في المناطق الجافة وشبه الجافة قد تحتوي الترب على كميات كبيرة من الماغنسيوم في صورة كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$.

يمكن اعتبار توزيع الماغنسيوم في الترب بنفس طريقة توزيع البوتاسيوم (أنظر 4.1.10) وهو ينقسم إلى المتبادل وغير المتبادل والذائب وهذه الأشكال الثلاثة تكون في توازن. الجزء الأكبر من ماغنسيوم التربة يكون الشكل غير المتبادل الذي يتضمن كل الماغنسيوم في المعادن الأولية ومعظم الماغنسيوم في معادن الطين الثانوية وعلى العموم هذا الجزء لم يعتبر ذا أهمية مباشرة للنباتات ((Salmon and Arnold (1963)). هناك مقترحات جديدة تقترح أن في بعض الترب الماغنسيوم غير المتبادل ربما يكون أكثر تيسراً للنباتات ((Christenson and Doll (1973)) رغم أن معدل تحرر هذا الماغنسيوم يكون منخفضاً بالمقارنة مع احتياجات المحصول. الماغنسيوم المتبادل يكون عادةً حوالي 5 % من الماغنسيوم

الكلي وهذا الجزء مع الماغنسيوم الذائب في الماء يكون ذا أهمية كبيرة جداً في تزويد النباتات. الماغنسيوم المتبادل يكون عادةً حوالي 4 – 20 % من السعة التبادلية الكاتيونية وهذه تعتبر أقل من الكالسيوم الذي يكون حوالي 80 % وأعلى من البوتاسيوم الذي يقارب حوالي 4 % (أنظر4.1.10) الماغنسيوم في محلول التربة يشبه الكالسيوم حيث يوجد بتراكيز عالية وعادةً بين 2–5 مليمول رغم أن المستويات يمكن أن تتغير بدرجة كبيرة حيث سجلت قيماً بين 0.2–150 مليمول (أنظر 4.3.2). يوجد بعض الماغنسيوم في الترب متحداً مع المادة العضوية لكن هذا الجزء يكون عادةً ضئيلاً وأقل من 1 % من الماغنسيوم الكلي في التربة.

الماغنسيوم يشبه الكالسيوم لكونه يسهل غسله نسبياً من التربة وبكميات تتراوح من 2 إلى 30 كيلوجرام ماغنسيوم/هكتار/السنة (أنظر 3.1.6). إن معدل الإزالة يعتمد بدرجة كبيرة على كمية الماغنسيوم المحتوية عليها المعادن في التربة وعلى معدل تجويتها وعلى حدة الغسيل وكذلك على امتصاص النبات للماغنسيوم من التربة. تحرر الماغنسيوم في كثير من الترب بالتجوية يكون قادراً على معادلة الماغنسيوم الذي فقد بالغسيل. في كثير من الأحيان في الترب الرملية يكون الفقد بالغسيل هو السائد. الطبقة التحت سطحية في مثل هذه الترب كثيراً ما تحتوي على مستويات ماغنسيوم أعلى مما في سطح التربة. لقد وجد Wiklander (1958) في 63 مقطع تربة غير مزروعة في السويد أن متوسط تشبع السعة التبادلية للماغنسيوم في الطبقات السطحية للتربة (0–20سم) حوالي 17 % (الرقم الهيدروجيني 5.4) في حين في الطبقات التحت سطحية (40–50سم) كانت 29 % (الرقم الهيدروجيني 5.8).

إن مستوى الماغنسيوم في الترب يعتمد بدرجة كبيرة على نوع التربة؛ لذا فالترب العالية الغسيل مثل البدزولية Podzols واللتراثية Lateritic تكون عموماً منخفضة في الماغنسيوم. من ناحية أخرى الترب المتكونة في الأماكن المنخفضة التي تتجمع فيها المغذيات كما في ترب المستنقعات أو الرطبة Gleyed تميل لأن يكون محتواها عالياً من الماغنسيوم. نفس الشئ ينطبق على الترب التي تكون قليلة الغسيل مثل ترب السولونتز Solontez والسولونشاك Solonchak التي يوجد فيها دائماً كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$. ومادة الأصل أيضاً لها دور وعموماً الترب المتكونة على صخور غنية بالماغنسيوم مثل البازلت Basalt وبيريدوثيث Peridotite ودولوميت Dolomite تكون مزودة بالماغنسيوم بصورة جيدة. في دراسة 55 تربة في شمال ألمانيا وجد أن الماغنسيوم الكلي المنخفض 0.5 % في ترب المستنقعات إلى 0.05 % في ترب البودزول على الترتيب التالي: ترب المستنقعات > الترب السلتية البنية Brown earth silty soils > الترب الرملية البنية Brown earth sandy soils > ترب البودزول البنية Brown podzolic soils > ترب البودزول Podzols ((Schroeder and zahiroleslem (1963)). الترب المتكونة على السربنتين Serpentine تكون عالية جداً في محتوى الماغنسيوم ومثل هذه الترب تكون نسبة الكالسيوم إلى الماغنسيوم منخفضة على المعقد التبادلي وقد تظهر أعراض نقص الكالسيوم نقية على النباتات المزروعة فيها. الوضع يكون صعباً وبذا قد يوجد الماغنسيوم بمستويات عالية سامة من المعادن الثقيلة خاصة النيكل Ni والكروم Cr. بالإضافة إلى أن هذه الترب تعاني نقصاً في المغذيات الكبرى Macronutrients. ترب السربنتين قد ناقشها Krause (1958) و Epstein (1972).

سلوك ودور الماغنسيوم في الترب قد أخذ في الاعتبار أخيراً بوساطة Kirby and Mengel (1973).

2.12 الماغنسيوم في الفسيولوجي Mg in Physiology

1.2.12 الامتصاص والانتقال:

تمتص النباتات الماغنسيوم على العموم بكميات أقل من الكالسيوم أو البوتاسيوم. محتوى أنسجة النبات من الماغنسيوم عادةً تكون حوالي 0.5 % من المادة الجافة. عند الامتصاص تكون تأثيرات التنافس الكاتيوني ذات أهمية خاصة للماغنسيوم لأن مثل هذه التأثيرات كثيراً ما تقود إلى نقص الماغنسيوم في الحقل. التأثير التنافسي للأمونيوم NH^{+}_{4} على امتصاص الماغنسيوم Mg^{+2} قد لوحظ بوساطة E. G. Mulder (1956) . أن آلية التنافس بين الأمونيوم والماغنسيوم ليست واضحة حتى الآن ومن المحتمل أن التنافس يعتمد على كل من تحرر الهيدروجين H^{+} خلال دمج الأمونيوم وعلى التأثير المباشر للأمونيوم ذاتها. لقد بين D - Mulder (1950) أن المستويات العالية للبوتاسيوم في التربة ينتج عنه نقص ماغنسيوم على أوراق التفاح. لقد لاحظ كثير من الباحثين الآخرين التأثير المضاد في تجارب المحاليل المغذية وتجارب الحقل. البيانات عن Grimme et al. (1974) تبين أيضاً أن محتوى الماغنسيوم العالي قد يوجد في النباتات المزودة بمستويات منخفضة من تغذية البوتاسيوم. هذا المحتوى العالي من الماغنسيوم المحفز عند المستويات المنخفضة لتغذية البوتاسيوم. هذه الملاحظة تتفق جداً مع نتائج Leggett and Gilbert (1969) بأن امتصاص الماغنسيوم بفول الصويا كان عالياً خاصةً عندما كان المحلول المغذي خالياً من البوتاسيوم. ملاحظات

مشابهة وجدها Hall (1971) بأن حدث ارتفاع كبير في مستوى الماغنسيوم في أنسجة الطماطم التي تعاني من نقص الكالسيوم. مستوى الماغنسيوم في الوسط المغذي يكون أيضاً ذا أهمية بالعلاقة بامتصاص المنجنيز Mn. لقد بين Löhnis (1960) في عدد من أنواع النبات بأن بالإمكان منع ظهور سمية المنجنيز بزيادة مستوى التزويد بالماغنسيوم. هناك دليل بإنخفاض امتصاص المنجنيز بوساطة وجود الماغنسيوم ((Meas et al. (1969)). هذه التأثيرات الأيونية المضادة وغير المضادة في امتصاص الماغنسيوم يظهر أنها ذات علاقة بتأثيرات التوازن الأيوني أكثر من علاقتها بتأثيرات التنافس المعنية للحوامل Garriers للأنيونيات (أنظر 8.1.3).

بما أن المستويات العالية لتغذية البوتاسيوم أكثر الأحيان تقلل من امتصاص الماغنسيوم الكلي فإن التزويد بالبوتاسيوم يؤثر في محتوى الماغنسيوم لأجزاء النبات المختلفة بدرجات متفاوتة. يمكن أن يلاحظ في الجدول (1.12) زيادة التزويد بالبوتاسيوم قلل محتوى الماغنسيوم لأوراق وجذور الطماطم بدرجة كبيرة.

محتوى الثمار من الماغنسيوم كان قد زاد بعض الشيء بوساطة المستويات العالية للبوتاسيوم في المحلول المغذي هذه الملاحظة لم تكن عرضية كما وجد في كل الست حصدات للطماطم ((Viro (1973)). لقد بين Linser and Herwig (1968) أن زيادة التزويد بالبوتاسيوم أدى إلى ارتفاع محتوى الماغنسيوم لبذور الكتان Flax. نتائج مشابهة قد وجدت مع محصول البطاطس ((Addiscott (1974)). إنه من الواضح أن البوتاسيوم يحفز انتقال الماغنسيوم إلى الثمار وأنسجة التخزين.

Table 12.1 Effect of an increasing K supply on the cation content of various organs of the tomato plant (Viro [1973])

Treatment mM K/l nutrient solution	K	Na	Ca	Mg
	in % DM			
	Leaves			
2	0.5	0.40	4.7	0.61
10	3.3	0.19	4.2	0.27
20	4.2	0.18	3.3	0.15
	Roots			
2	0.2	0.36	3.9	0.33
10	2.2	0.25	3.2	0.31
20	2.4	0.13	3.3	0.26
	Fruits			
2	1.6	0.10	0.09	0.07
10	2.5	0.07	0.08	0.08
20	2.7	0.06	0.07	0.09

بالمقارنة مع الكالسيوم يكون الماغنسيوم متحركاً جداً في اللحاء ويمكن أن ينتقل من الأوراق القديمة إلى الحديثة أو إلى القمة (Schimansky (1973), Steucek and Koontz (1970)). وهذا يكون صحيحاً للبوتاسيوم بما أن الفاكهة وأنسجة التخزين تعتمد بدرجة كبيرة على اللحاء لتزويدها بالمعادن فإنه ستكون أعلى في محتوى البوتاسيوم والماغنسيوم من الكالسيوم (أنظر الجدول (1.12)).

2.2.12 الوظائف الكيموحيوية: Biochemical functions

توجد نسبة عالية من الماغنسيوم الكلي في أنسجة النبات وهي غالباً أكثر من 70% تكون قابلة للانتشار ومرتبطة مع الأنيونات غير العضوية وأنيونات الأحماض العضوية مثل الماليت Malate والستريت Citrate. الماغنسيوم يكون مرتبطاً أيضاً مع الأنيونات غير القابلة للانتشار وتضم الأوكسلات Oxalate والبكتيت Pectate (Kirkby and Mengel

(1967)). تحتوي حبوب محاصيل الحبوب على ماغنسيوم كملح حامض هيكسافوسفوريك إنوسيتول Inositol Hexaphosphoricacid (حامض الفيتك Phytic acid). إن أهم دور معروف جيداً للماغنسيوم هو وجوده في مركز جزيء الكلورفيلChlorophyll molecule (أنظر الشكل 4.1). الجزء المرتبط مع الكلوروفيل من الماغنسيوم الكلي يكون قليلاً نسبياً ويمثل فقط حوالي 15–20 % ((Neales (1956) وحتى في النباتات التي تعاني من نقص الماغنسيوم فالكمية لا تتعدى 30 % ((Michael (1941). إلى جانب وظيفته في جزيء الكلورفيل تكون الحاجة للماغنسيوم في العمليات الفسيولوجية الأخرى. الدور الرئيسي للماغنسيوم يكون كعامل مساعد Cofactor في معظم كل تنشيط الأنزيمات لعمليات الفسفرة Phosphorylation.

الماغنسيوم يبني جسراً بين تركيب البيروفوسفات Pyrophosphate للأدرونزين ثلاثي الفوسفات أو ثنائي الفوسفات ATP أو ADP وجزأي الأنزيم (الشكل 1.1) حسب (Blake and Hodges 1975) بأن تنشيط أنزيم أدوترين ثلاثي الفوسفاتيز ATPase بواسطة الماغنسيوم يكون سبب وظيفة الجسر هذا بالإضافة إلى الفوسفور ثلاثي الفوسفوكينيزات Phosphokinases فإن بعض أنزيمي الديهيدروجنزات Dehydrogenaese والأنوليز Anolase تكون أيضاً منشطة بالماغنسيوم. تفاعل الماغنسيوم في هذه الأنزيمات ليس محدداً والمنجنيز كثيراً ما يكون منشطاً أكثر كفاءة.

التفاعل الأساسي للماغنسيوم يكون في تنشيط أنزيم كربوكسيليز ثنائي الفوسفات ريبولوز Ribulose bisphosphate carboxylase. كما قد شُرح سلفاً في (3.2.3) بأن

الضوء يطلق الماغنسيوم القادم داخل الأستروما Stroma للكلوروبلاست للتبادل محل الهيدروجين وبذلك يوفر الظروف المثالية لتفاعل الكربوكسيليز Carboxylase، هذه العلاقة موضحة في الشكل (1.12) (Walker 1979). التأثير المفضل للماغنسيوم على تمثيل ثاني أكسيد الكربون والعمليات ذات العلاقة مثل إنتاج السكر والنشا تكون غالباً نتيجة هذا التنشيط لأنزيم الكربوكسيليز ثنائي الفوسفات ريبولوز.

على العموم عندما تعاني النباتات من نقص الماغنسيوم فإن إنتاج نيتروجين البروتين ينخفض وأن النيتروجين غير البروتيني يرتفع ((Header and Mengel (1969)). من هذا يمكن استنتاج أن نقص الماغنسيوم يوقف تمثيل البروتين وهذا لا ينتج من افتقار تمثيل حامض أميني معين كما يكون في حالة نقص الكبريت (أنظر 3.2.8) ويكون التأثير غالباً بسبب تحلل الريبوزومات Ribosomes داخل الوحدات الفرعية في غياب الماغنسيوم ((Tsó (1962)) و ((Watson (1965)) يظهر أن الماغنسيوم يثبت الحبيبات الريبوسومية Ribosomal في الترتيبات الضرورية لتمثيل البروتين ويعتقد أن لها تأثيراً مثبتاً في نسيج النواة حسب ((Wanderlich (1978)) فهذا الانجاز يكون بتأثير الجسر للماغنسيوم على الأيقونات غير المنتشرة. إن انتقال أسيلات الأمين Amino acyls من أسيل أمين الريبوزم الناقل Amino acyl T-RNA إلى سلسلة عديدة الببتيد Polypeptide تكون أيضاً منشطة بالماغنسوم.

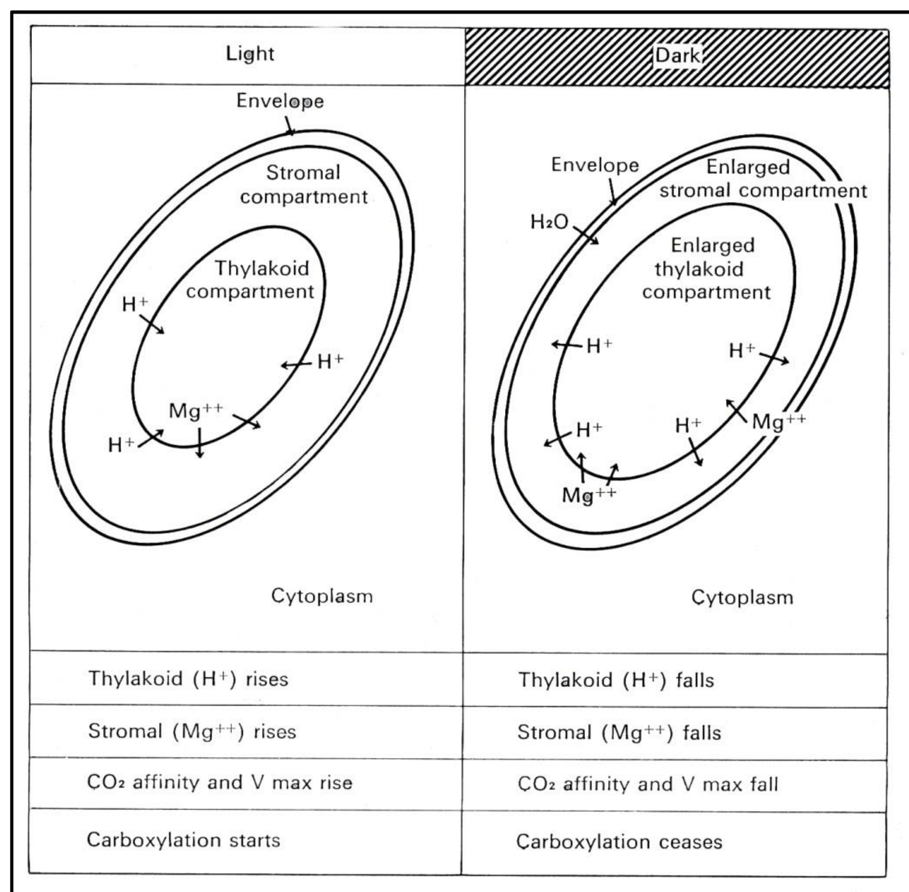


Fig. 12.1 Hypothetical sequence of events in light-Mg^{2+} activation of RuBP carboxylase (after WALKER [1974]).

3.2.12 نقص الماغنسيوم Magnesium deficiency

تختلف أعراض نقص الماغنسيوم فيما بين أنواع النباتات رغم ظهور بعض الصفات العامة. كما سبق ذكره فالماغنسيوم يكون متحركاً في النباتات والنقص يبدأ دائماً في الأوراق القديمة ثم ينتقل إلى الأوراق الحديثة. حدوث اصفرار فيما بين التعرق وشحوب الورقة وفي

حالات النقص الشديد تصبح متنكرزة (ميتة). تبين اللوحة (1.12) أعراض نقص الماغنسيوم في ورقة بنجر السكر وهذا المظهر نموذجي لأعداد أخرى للنباتات ثنائية الفلقة مثل العنب وفول العلف Fieldbeans والبطاطس والطماطم. قد يكون النقص في بنجر السكر فيه خطأ على أنه اصفرار نتيجة إصابة بفيروس Virus. هناك صفة أخرى خاصة على النباتات التي تتعرض لضوء الشمس الشديد فظهر عليها الذبول عموماً بسبب نقص البوتاسيوم في حين يكون المحتوى المائي للنبات مضطرباً (أنظر 6.2.10). الأوراق المفردة التي تعاني من نقص الماغنسيوم تكون متيبسة وهشة وتكون التعرقات الوسطية ملتوية. الأوراق التي تعاني من نقص الماغنسيوم كثيراً ما تسقط قبل اكتمال نموها. في محاصيل الحبوب وذات الفلقة الواحدة تكون عموماً أعراض نقص الماغنسيوم مختلفة المظهر. في حالة النباتات ذوات الفلقتين فأيض الماء والكربوهيدرات للنبات تكون متأثرة أيضاً والنقص يبدأ في الأوراق القديمة، أما في محاصيل الحبوب تظهر أولاً على قاعدة الورقة بقع خضراء داكنة صغيرة لتراكم الكلورفيل الذي يقابله خلفية لون أصفر شاحب للورقة. في أطوار النقص المتقدمة تصبح الأوراق أكثر اصفرار ومخططة. يحدث تنكرز أو موت موضعي للأنسجة خاصةً عند نهاية الورقة. الأعراض تكون مماثلة للقمح والشوفات والجاودار وكذلك الذرة في أطوار النمو المبكرة لكن بتقدم النباتات في العمر تكون أوراق الذرة أكثر تبقعاً.

إن تأثيرات نقص الماغنسيوم على تغيرات التركيبات الفوقية قد درست بواسطة عدد من الباحثين حيث وجد أنه قد تحدث اختلافات واضحة في تركيب الكلوروبلاست. في نبات الفاصوليا Phaseolus Vulgaris تكون الجرانا Grana منخفضة في العدد وتكون

غير منتظمة في الشكل وحجيراتها تكون قليلة أو منعدمة، في بعض الحالات يتراكم نشا الحبوب ((Thomson and Weir (1962). بين Chevalier and Huguet (1975) أن تأثير نقص الماغنسيوم على التركيب الفوقي لكلوروبلاست أوراق التفاح وجد أنه بسبب التزويد غير الكافي من الماغنسيوم نتج عنه تشوهات في تركيب الصفائح. الميتاكوندريا Mitochondria كانت متأثرة بنقص الماغنسيوم الظاهر (مرئي). تكون تراكيز الخلية الحية

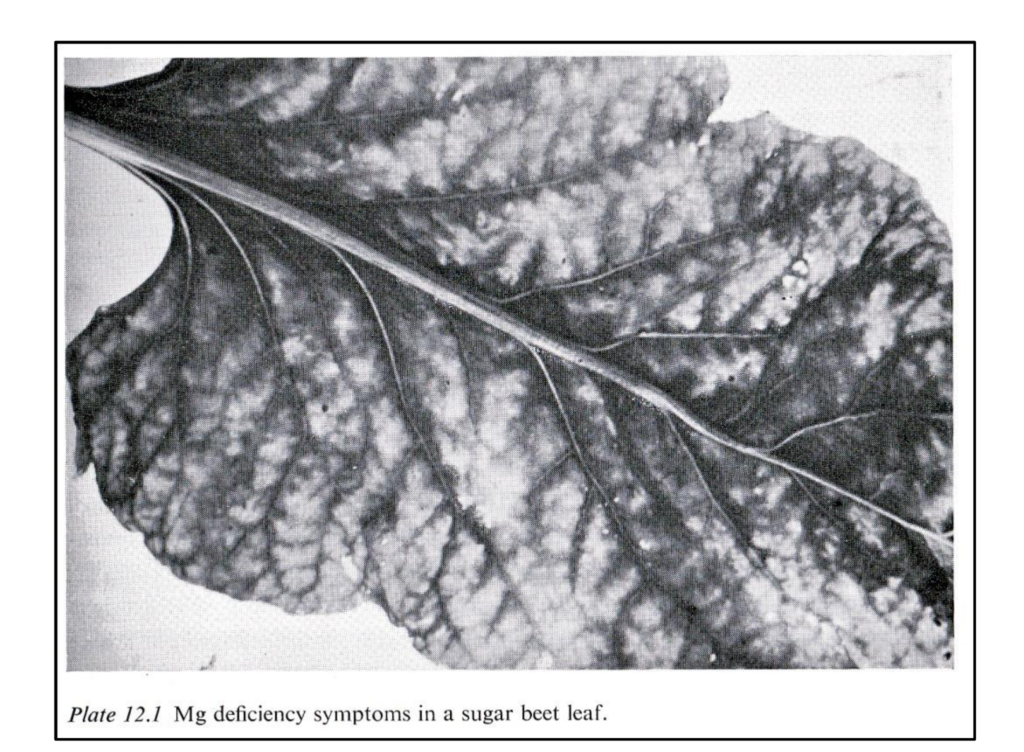


Plate 12.1 Mg deficiency symptoms in a sugar beet leaf.

للكلوروفيل وأيضاً تراكيز الماغنسيوم عالية بدرجة أكبر في الكيوروبلاستات مما هو في الخلية ككل ((Hewitt and Smith (1975). لذا فلا غرابة بأن يكون الاصفرار أكثر الأحيان من

الأعراض الأولى لنقص الماغنسيوم.

تكون القيمة المبدئية لوجود أعراض النقص في أنسجة الورقة في المنطقة حوالي 2 مليجرام ماغنسيوم / جرام مادة جافة رغم أن هذا يعتمد على عدد من العوامل متضمناً ذلك أنواع النبات. لقد لاحظ في Ward and Miller 1969 أعراض نقص الماغنسيوم في أوراق الطماطم عندما أنخفض محتوى الماغنسيوم إلى أقل من 3 مليجرام / جرام مادة جافة. النباتات المزودة بكميات غير كافية من الماغنسيوم أكثر الأحيان تتأخر في طور الإنتاج. في أنواع مختلفة من النباتات وصف تفصيلي عن أعراض النقص في عدة محاصيل ومستويات الماغنسيوم تحت ظروف متنوعة يمكن الحصول عليها من بيانات المتابعة لتطور النباتات Embelton (1966).

3.12 الماغنسيوم في تغذية المحاصيل Magnesium in crop nutrition

1.3.12 احتياجات النبات والمستويات الحرجة

Crop requirements and critical levels

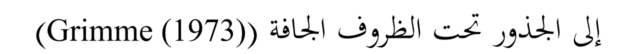
أن كميات الماغنسيوم التي تمتصها بعض نباتات المحاصيل الهامة تكون مبينة في الجدول (2.6). إن متوسط امتصاص المحاصيل الزراعية يكون في حدود 10–25 كيلوجرام ماغنسيوم / هكتار / السنة وعموماً فإن امتصاص محاصيل الجذور تكون حوالي الضعف لمحاصيل الحبوب. بنجر السكر والبطاطس والفواكه ومحاصيل الصوبة تكون خاصةً عرضة لنقص الماغنسيوم.

لقد زادت أهمية أسمدة الماغنسيوم في السنوات الأخيرة حيث كانت إضافة

الماغنسيوم كشوائب مع الأسمدة الأخرى بدون قصد. الأسمدة العالية النقاوة المستعملة في الوقت الحاضر تعني أن مصدر الماغنسيوم الذي يضاف للتربة ليس موجوداً. إن زيادة إنتاج المحاصيل نتيجة إضافات أسمدة لا تحتوي على ماغنسيوم أدى إلى زيادة طلب النباتات على ماغنسيوم التربة. كما ذكر سلفاً بأن المستويات العالية من البوتاسيوم أو الأمونيوم تقلل من امتصاص النباتات للماغنسيوم ولهذه الأسباب فإن نقص الماغنسيوم في المحصول أصبح أكثر حدوثاً وإضافات الماغنسيوم كسماد يعتبر شيئاً مألوفاً. يحدث النقص خصوصاً في ترب الدبال الحامضية المرتفعة الغسيل أو في الترب الرملية التي أُضيف لها مستويات عالية من الجير. يحدث نقص الماغنسيوم في بعض الحالات في الترب ذات محتوى بوتاسيوم مرتفع.

إن أهمية التضاد الأيوني وعلاقته بامتصاص الماغنسيوم قد نوقش سابقاً لكن من الواضح في الترب الحامضية أن يتنافس الهيدروجين أو حتى الألمنيوم مع امتصاص الماغنسيوم في حين في الترب المعاملة بكميات عالية من الجير يحدث تنافس للكالسيوم مع الماغنسيوم. يوضح الشكل (2.12) العلاقة بين الرقم الهيدروجيني للتربة وشدة نقص الماغنسيوم في نبات الشوفان في الترب الرملية (Stenuit (1959.

يمكن حدوث نقص الماغنسيوم عند رقم هيدروجيني حوالي 5 وهو الحد الأدنى، فخفض أو رفع الرقم الهيدروجيني يقلل من امتصاص الماغنسيوم نتيجة التنافس مع الهيدروجين أو الكالسيوم. من هذه المنافسة يتضح أن وجود تراكيز من الهيدروجين والبوتاسيوم والكالسيوم في بيئة الجذور يمكن أن يؤثر بدرجة كبيرة على امتصاص النبات للماغنسيوم. يعتمد تيسر الماغنسيوم على رطوبة التربة حيث أنه قد يتعطل جريان الماغنسيوم



إلى الجذور تحت الظروف الجافة ((Grimme (1973)

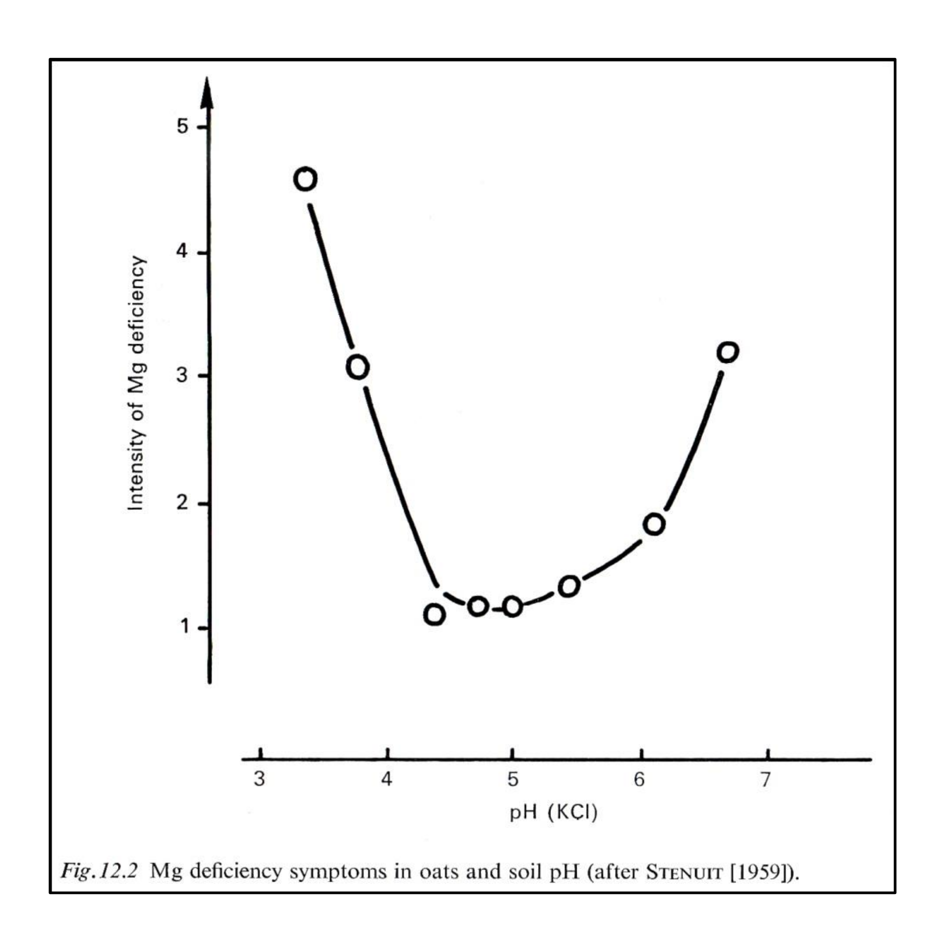


Fig. 12.2 Mg deficiency symptoms in oats and soil pH (after STENUIT [1959]).

لقد أجريت تجارب عدة لدراسة العلاقات بين الماغنسيوم والنبات والتربة تحت ظروف نقص الماغنسيوم حيث وجد Prince et al. (1974) أنه إذا كان الماغنسيوم يشكل أقل من 6% السعة التبادلية فعلى الأرجح أن يظهر النبات استجابة لإضافة الماغنسيوم. تحصل Tinker (1967) على استجابات في بنجر السكر في الترب ذات السعة التبادلية 5–

10مليمكافئ/100جرام تربة والتي تحتوي على أقل من 0.2 مليمكافئ ماغنسيوم/100 جرام تربة (2–4 % السعة التبادلية أو 24 جزء في المليون ماغنسيوم متبادل). فقد أقترح Draycott and Durrant (1971) في تقارير حديثة عن مسح لعدد 60 تجربة حقلية على نفس المحصول أن حدود الماغنسيوم المتبادل للتربة هي 35 جزءاً في المليون و0.4 مليجرام ماغنسيوم/جرام مادة جافة للورقة كمستويات حرجة لا يزداد عندها الإنتاج من إضافة سماد الماغنسيوم.

في دراسة نشرتها إدارة الخدمات الإرشادية الزراعية في بريطانيا تنصح بأن إضافة الماغنسيوم للمحاصيل النامية على ترب بها أقل من 25 جزءاً في المليون ماغنسيوم تبادلي وللمحاصيل الحساسة عندما يكون الماغنسيوم أقل من 50 جزءاً في المليون (N.A.A.S.(1968)). إضافات الماغنسيوم أعلى من هذه المستويات تكون ضرورية فقط عندما تكون مستويات البوتاسيوم عالية أو عندما تحدث أعراض نقص الماغنسيوم في الحيوانات Hypomagnesaemia أو عندنا تبدأ محاصيل الفاكهة ونباتات الصوبات في النمو.

تتفق هذه الاستنتاجات بدرجة جيدة مع بيانات مراجعات Doll and lucas (1973) تكون أفض استجابات لأسمدة الماغنسيوم موجودة عموماً في الترب الرملية الخفيفة. لذا فقد بين Dam Kofoed and Hojmark (1971) أن في الترب الرملية في الدنمرك أن بنجر العلف Fodder beet واللفت الأصفر Swedes والبطاطس كلها أعطت استجابات لإنتاج عال نتيجة إضافة الماغنسيوم، التأثير كان مذهلاً في محاصيل الحبوب. لقد وجد

Altherr and Evers (1975) استجابات لسماد الماغنسيوم من قبل أشجار الصنوبر Spruce (أشجار البيسية الصنوبرية) النامية على ترب حجر جيري منخفضة Bunter sand stone في ألمانيا. نقص الماغنسيوم الطفيف في محاصيل الحبوب خلال النمو الخضري لا تكون نتيجته دائماَ نقص في الإنتاج. تنخفض إنتاجية الحبوب عندما تحدث أعراض نقص الماغنسيوم في الأوراق العَلَمية Flag leaves أو في السنابل ((pissarek (1979). إن العلاقة بين محتوى الماغنسيوم في أغصان الشوفان عند وقت استطالة ساقه الجوفاء ذات العقل Culm والفترة النهائية لإنتاج الحبوب موضحة في الشكل (3.12).

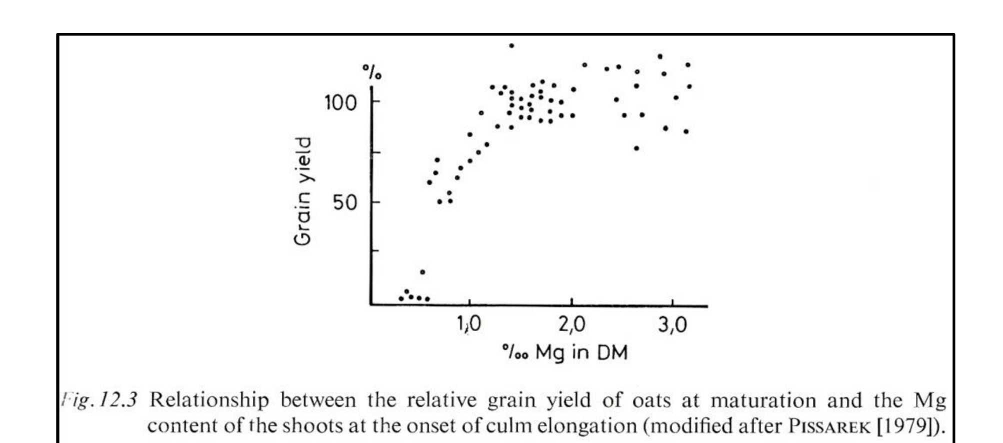


Fig. 12.3 Relationship between the relative grain yield of oats at maturation and the Mg content of the shoots at the onset of culm elongation (modified after PISSAREK [1979]).

2.3.12 أسمدة الماغنسيوم Magnesium fertilizer

إن أسمدة الماغنسيوم الرئيسة المستخدمة ومحتواه التقريبي في الجدول (3.12). تزويد الماغنسيوم في معظم الحالات يكون على شكل كربونات أو أكسيدات أو كبريتات. في العموم تكون أسمدة الكبريتات أكثر سرعة في التفاعل من أسمدة الكربونات لكنها أعلى

تكلفة ((Jung and Dressel (1969). تكون إضافة دولوميت الحجر الجيري Dolomite sand stone مفيدة خاصةً على الترب الحامضية التي تحتاج إضافة الجير بانتظام. يساعد انخفاض الرقم الهيدروجيني للتربة على تحلل الدولوميت. تكون كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$ أي الكيزريت Kieserite أكثر ملائمة في الترب الأكثر تعادلاً خاصةً الترب الزراعية التي تحتاج مستويات عالية من الماغنسيوم بصورة سريعة.

إن أشكال كبريتات الماغنسيوم المختلفة تختلف بدرجة كبيرة في الذوبان. فأملاح ابسوم Epsom ($MgSO_4.7H_2O$) رغم ارتفاع سعرها إلا أنها تكون أكثر ذوباناً من الكيزرايت $MgSO_4.H_2O$، هذا له أهمية تطبيقية كما أشار Cooke (1972) حين أضيفت 500 كيلوجرام / هـ كبريتات ماغنسيوم كالكيزريت لإحتياجاتها لمنع نقص الماغنسيوم في الطماطم بينما يمكن تلافي النقص برش 35 كيلوجرام/هـ ملح ابسوم ($MgSO_4.7H_2O$) مذابة في 400 لتر ماء تضاف عدة مرات خلال فصل النمو. الأسمدة المحتوية على نسب قليلة من الماغنسيوم مثل الكينيت Kainit وبقايا الفوسفات الأساسية وبعض أسمدة الفوسفات والبوتاسيوم PK وأسمدة النيتروجين-فوسفات-بوتاسيوم NPK تكون ذات فائدة في المحافظة على مستوى الماغنسيوم في التربة. في حالات توقع حدوث نقص ماغنسيوم يكون من الأفضل إضافة أسمدة ماغنسيوم ذات نسب مرتفعة (أنظر الجدول (2.12)). هناك سماد ماغنسيوم ليس ضمن مجموعة الكبريتات أو الكربونات وهو ملح فوسفات أمونيوم الماغنسيوم يكون قليل الذوبان ويستعمل في البستنة خاصةً للنباتات الحديثة الصغيرة الحساسة لأشكال معاملات الماغنسيوم الأخرى. استخدام القيم النسبية

لأسمدة الماغنسيوم المختلفة وكذلك مصادر الماغنسيوم الأخرى مثل السماد البلدي وبقايا الفوسفات والمواد الجيرية قد نوقشت بإسهاب بوساطة (Cooke (1972. إن معدلات إضافة الماغنسيوم على الترب الرملية يكون في مدى 80 إلى 160 كيلوجرام أكسيد ماغنسيوم MgO في الهكتار. هذه معدلات أدت إلى زيادة كبير في إنتاج محاصيل وراعية مختلفة في الترب الرملية في الدنمرك ((Dan Kofoed and Hojmark (1971). بينت محاصيل البطاطس على الأخص استجابة كبيرة لمعاملة الماغنسيوم ((Jung and Dressel (1969). إن إضافة الماغنسيوم تكون أيضاً مهمة للمراعي وعلاقتها بتغذية الحيوان. الإدارة المكثفة لمروج الأعشاب كثيراً ما ينتج عنه أعلاف ذات محتوى منخفض من الماغنسيوم المتيسر الذي لا يكفي احتياجات أبقار الحليب ولذا فهذه الحيوانات تعاني من تكزز الكلأ Grass tatany (نقص الماغنسيوم Hypomaynesaemia).

قراءات عامة

General Reading

EMBLETON, T.W.: Magnesium. In: H.D. CHAPMAN, Diagnostic Criteria for Plants and Soils. (ed.), p. 225-263. Univ. of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

KIRKBY, E. A. and MENGEL, K.: The role of magnesium in plant nutrition. Z. Pftanzenern. Bodenk. 209-222 (1976).

SALMON, R.C.: Magnesium relationships in soiJs and plants. J.Sci. Food Agric., 14,605-610 (1963).

الفصل الثالث عشر

الحديد

1.13 حديد التربة: Soil iron

يمثل الحديد حوالي 5 % من وزن قشرة التربة، وهو موجود بدون تغير في كل الترب (أنظر الجدول 1.11). الجزء الأكبر من الحديد يوجد دائماً في الصفائح البلورية لمعادن كثيرة. المعادن الأولية التي يوجد بها الحديد تتضمن سليكات الماغنسيوم الحديدية Ferromagnesium silicates مثل الأوجيب Augite والأولفين Olivine والهورنبلند Hornblend والبيوتيت Biotite. هذه المعادن مع ميكا البيوتيت Biotite mica تشكل مصدر الحديد الرئيس في الصخور النارية. أكاسيد الحديد الأولية التي توجد في ترب كثيرة تضم الهيماتيت Haematite (Fe_2O_3) والألمنيت Ilmenite ($FeTiO_3$) والماجنيتيت Magnetite (Fe_3O_4). أكاسيد الحديد والسدريت ($FeCO_3$) تكون عادةً أشكال الحديد الأولية الأكثر شيوعاً في الصخور الرسوبية. في الترب قد يوجد الحديد أيضاً في صفائح المعادن الثانوية وهو عنصر ضروري في مجموعات كبيرة من معادن الطين. بتواصل عملية التجوية فإن الحديد الموجود أصلاً في المعادن الأولية يعني أنه خلال الأكسدة بعملية التجوية تتراكم أكاسيد الحديد كاكاسيد مائية Hydrous oxides في جزء الطين. لذا في الترب عند طور متقدم من عملية التجوية التأكسدية كما في حالة الترب الحمراء المسامية Laterite تكون هذه الأكاسيد كلها مع أكاسيد الألمونيوم والكولنيت هي السائدة في مقطع التربة (Oades (1963)).

إن محتوى التربة من الحديد الذائب يكون منخفضاً جداً بالمقارنة مع الحديد الكلي. الصور غير العضوية الذائبة تضم Fe^{+3} و $Fe(OH)^{+}_2$ و$Fe(OH)^{+2}$ وFe^{+2} يساهم الحديد

الثنائي Fe^{+2} في الترب الجيدة التهوية بكمية قليلة إلى الحديد الكلي غير العضوي الذائب تحت ظروف التربة المرتفعة الرقم الهيدروجين. إذابة الحديد تتحكم فيها إذابة أكاسيد الحديد الثلاثية المائية. هذه ترفع الحديد Fe^{+3} والأنواع المتميأة ((Lindsay(1972)):

$$Fe^{+3} + 3OH^{-} \leftrightarrows Fe(OH)_3 \text{(صلب)}$$

يكون التوازن لحد كبير في صالح ترسيب أكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ ويعتمد على الرقم الهيدروجيني بدرجة كبيرة، فنشاط الحديد Fe^{+3} ينخفض مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني. ينخفض نشاط الحديد Fe^{+3} عند مستويات الرقم الهيدروجيني المرتفع، بمقدار 1000 مرة لكل ارتفاع في الرقم الهيدروجيني وحدة واحدة. يصل مستوى الحديد الذائب إلى الحد الأدنى عند رقم هيدروجيني بين 6.5–8.0 ((Lindsay (1972)). لذا فالترب الحامضية تكون أعلى نسبياً في الحديد غير العضوي الذائب من الترب الكلسية ذات المستويات المنخفضة جداً من الحديد مما قد يؤدي بالمساهمة في نقص الحديد في النباتات النامية على هذه الترب.

يحدث اختزال للحديد عند غمر الترب بالماء من الثلاثي Fe^{+3} تصاحبه زيادة ذوبان الحديد.

هناك اختزال يحدث بوساطة أيض البكتيريا اللاهوائية. عملية اختزال الحديد هذه تكون ذات أهمية خاصة في ترب حقول الأرز حيث ينتج عنها تراكيز عالية من الحديد. وهذا قد ينتج عنه غالباً تأثيرات سمية على نباتات الأرز والتي تعرف باللون البرونزي Bronzing. يمكن أن تكون نسبة أنشطة الحديديك (Fe^{+3}) في الترب المتعرضة لظروف لا هوائية مقياس مهم في العلاقة بنمو النبات. هذه النسبة يمكن تقييمها بقياس جهد الأكسدة

والاختزال (الرودكس Redox) حسب المعادلة التالية:

$$E = 0.77+0.59 \log {}^{a}Fe^{+3}/ {}^{a}Fe^{+2}$$

عمليات الاختزال تكون هي الغالبة تحت ظروف التربة اللا هوائية. تعطي أكاسيد الحديد المتميأه تعطى ارتفاعاً في الحديدوز Fe^{+2} ((Ponnampruma (1972) حسب المعادلة التالية:

$$Fe(OH)_3 + \bar{e} + 3H^+ \rightarrow Fe^{+2} + 3H_2O$$

تبين هذه المعادلة أن اختزال Fe^{+3} إلى الحديدوز يصاحبه استهلاك للهيدروجين وبذلك يزداد الرقم الهيدروجيني. ويحدث العكس في حالة الترب التي تزداد تهويتها حيث يهبط الرقم الهيدروجيني ويصاحبه أكسدة الحديدوز إلى الحديديك.

اختلافات في جهد الرودكس يمكن ملاحظتها كثيراً في نفس المقطع. في طبقات التربة الأكثر عمقاً والتي تكون فيها التهوية أقل بكثير، فجزء الحديدوز من الحديد الكلي المذاب يكون أغلب الأحيان أعلى مما في سطح التربة. ملاحظات التي أبداها (1949) Wiklander and Hallgern على سبيل النثال تبين أنه عند عمق 2 متر فإن 90% من الحديد المذاب كان موجوداً كحديدوز. ينخفض جهد الرودكس عموماً من السطح إلى أسفل مقطع التربة.

هناك ميزة مهمة للحديد في كل من الترب والنباتات وهي التكوين السريع للمعقدات أو المخلبيات Chelates.

عند الغسيل المكثف وتصريف الترب الضعيف غالباً ينتج عنه تحرك الحديد من أعلى أفق التربة ويعاد ترسيبه أسفل مقطع التربة. في ترب البدزول Podzolic يظهر أن

الحديد يكون معقدات مع متعدد الفينولات Polyphenols وأحماض الفاتية البسيطة Simple alipatic acids وأحماض فولفك Fulvic acids من الأحماض المختلطة في الطبقة Acid litter layer. هذه المعقدات تسهل حركة الحديد وربما تكون مهمة في تزويد الحديد لجذور النبات. هناك مراجعة مفيدة عن مركبات الحديد في الترب قدمها (1963) Oades.

2.13 الحديد في الفسيولوجي Iron in physiology

1.2.13 الامتصاص والانتقال Uptake and translocation

يمكن أن تمتص الجذور الحديد كحديدوز Fe^{+2} أو حديد مخلبي Fe-chelates الحديديك Fe^{+3} يكون ذا أهمية ثانوية فقط بسبب انخفاض ذوبان مركبات الحديد الثلاثي عند الرقم الهيدروجيني لمعظم الترب. يعتمد تيسر الحديد غير العضوي لجذور النبات بوضوح على مقدرة الجذور لخفض الرقم الهيدروجيني واختزال الحديديك Fe^{+3} إلى الحديدوز Fe^{+2} في منطقة الجذور Rhizosphere ((Brown (1978), Marschner et al. (1974)).

مقارنةً بالحديد غير العضوي فإن مركبات الحديد المخلبية تكون ذائبة وبذلك فهي متيسرة للجذور ومع ذلك فمعدل امتصاص جزيئات الحديد المخلبية ككل يكون منخفضاً جداً. ولتمثيل الحديد المخلبي بكفاءة يجب أن يحدث الفصل بين الحديد والغلاف العضوي Organic ligand (عملية الفصل المخلبي) على سطح الجذور عند تزويد جذور النبات بمخلبيات الحديد والتي عندها تكون حاجة النباتات لمستويات طبيعية منخفضة من الحديد ((Tiffin and Brown (1961)). حسب (1972) Chaney et al. فاختزال الحديديك ضروري قبل إمكانية فصل الحديد المخلبي والحديدوز تمتصه الجذور، ولقد اقترحوا أن اختزال

الحديديك في الجزء الخارجي لصفائح البلازمالما Plasmalemma يكون حدوثه بوساطة مصدر الكبريتات من داخل الخلية خلال السيتوكروم Cytochrome أو مركب الفلافن Flavin compound عندما توجد فقط مستويات عالية في الوسط الغذائي. من الممكن كشف كميات كبيرة من مخلبيات الحديد في أفرع النبات (Jefferys and Wallace (1968)).

أنواع النباتات تختلف في مقدرتها لاستخدام كميات ضئيلة من الحديد غير العضوي والحديد المخلبي للتغذية بالحديد. ما يسمى بأنواع النبات ذات الفاعلية لاستخدام الحديد يكون لها القدرة لخفض الرقم الهيدروجيني للوسط الغذائي ويرفع سعة الاختزال لسطح الجذور تحت ظروف نقص الحديد الذي وفقاً له يزداد تيسر الحديد وامتصاص الجذور له بدرجة كبيرة (Marschner et al. (1974)).

بالنسبة لنباتات عباد الشمس يمكن توضيح بأن هذه التغيرات الفسيولوجية للجذور تحت إجهاد الحديد تصاحبه تغيرات موفورلوجية نموذجية مثل تثخين قمم الجذور بسبب استطالة القشرة وإضافة طبقة خلايا حول الجذور Rhizodermal وتكثيف تطور الشعيرات الجذرية ((Römheld and Marschner (1979). هذه التغيرات في تركيب الجذور لأنواع النبات ذات الكفاءة العالية في امتصاص الحديد تكون مشتركة مع تطور خلايا النقل. مثل تلك الخلايا التي توجد في قشرة الجذور Rhizodermz تكون عالية التخصص في امتصاص الحديد ويؤثر في زيادة امتصاصه خلال نقص الحديد ((Kramer et al. (1980).

دلائل (1981) Römheld and Marzhrer بأن تفاعلات جهد الحديد

Iron stress reactions تكون متواترة وتحدث بانتظام (متناغمة) ومشتركة مع التقلبات الواضحة مع معدل امتصاص الحديد. التغيرات الفسيولوجية المورفولوجية التي وصفت أعلاه بالاشتراك مع إجهاد الحديد تحفز تيسر الصور الضئيلة المذابة من الحديد في الأساس. هذا التخفيف المؤقت لإجهاد الحديد في النبات ينتج عنه ارتفاع في الرقم الهيدروجيني لمادة التفاعل (أي أن صافي الهيدروكسيل OH^- المتدفق يحل محل صافي الهيدروجين H^+ المتدفق) ويخفض سعة الاختزال في الجذور وهذا ينشئ الظروف لتوالي تفاعلات إجهاد الحديد المتتابعة Römheld and Marschner (1981) بيّن أن التناغم في امتصاص ونقل الحديد يكون منتظماً هرمونياً وغالباً في قمم الأفرع، حيث اقترحوا أن حالة الحديد الغذائية للنبات تتحول إلى علامة (Signal) والتي تحفز كيموحيوية ومورفولوجية محددة داخل الجذور مسببة في عملية تنظيم دقيق لتزويد النبات بالحديد ومن الواضح تدخل الأوكسين Auxin.

في مقارنة أنواع النباتات ذات الكفاءة لاستخدام الحديد بالأنواع غير ذات الكفاءة– خاصةً النجيليات Gramineae – لم تبين تغيرات مورفولوجية وفسيولوجية تحت ظروف إجهاد الحديد. هذه الأنواع غير قادرة على التفاعل مع إجهاد الحديد بزيادة حركة الحديد في الوسط الغذائي مع إلحاقه بزيادة امتصاص الحديد بوساطة الجذور.

هناك إثبات بأن امتصاص الحديد يتم التحكم فيه أيضياً حسب Moore (1972). النتائج التي قدمها Tiffin (1966) مثلاً تبين تراكيز الحديد في المواد المفرزة لساق عباد الشمس ونباتات فول الصويا المقطوعة القمة كانت أكثر من 30 مرة مما في المحاليل المحيطة. إن امتصاص Fe يتأثر بدرجة كبيرة بالكاتيونات الأخرى. تأثيرات التنافس على أمتصاص

الحديد قد لوحظت مع الكاتيونات مثل المنجنيز Mn^{+2} والنحاس Cu^{+2} والكالسيوم Ca^{+2} والماغنسيوم Mg^{+2} والبوتاسيوم K^{+} والزنك Zn^{+2} ((Lingle et al. (1963)). مثل هذه التأثيرات على الامتصاص يمكن أن تحسب جزئياً على مقدرة المعادن الثقيلة لحث نقص الحديد في عدد من أنواع النباتات ((Hewitt (1963)). المعادن الثقيلة خاصةً النحاس والزنك تكون معروفة أيضاً لإزاحتها للحديد من المعقدات المخلبية مكونة مخلبيات معادن ثقيلة مشابهة وهذا ذو أهمية في تحديد امتصاص وتمثيل الحديد سواء نقل مخلبيات الحديد إلى الجذور أو خلال النبات نفسه بوساطة تأثير المعدن الثقيل على مراكز النشاط الفسيولوجي للحديد. حسب Dekock (1956) التأثير الضار للمعادن الثقيلة على امتصاص ونقل الحديد في الخردل الأبيض White mustard يكون كبيراً كلما كان الاستقرار النسبي للمعدن المخلبي الثقيل مرتفعاً.

إن امتداد أعراض نقص الحديد المسبب بالمعادن الثقيلة يتبع سلسلة الاستقرار التالية:

المانجنيز (Mn) < الكروم (Cr) < الزنك (Zn) < الكوبلت (Co) < النيكل (Ni) < النحاس (Cu)

إن الحديد لا يتحرك بسهولة بين أجزاء النبات المختلفة. النباتات الخضراء المجردة من الحديد في وقت وجيز تصبح الأجزاء الحديثة النمو صفراء بينما تبقى الأنسجة القديمة خضراء. الأنسجة الحديثة تكون معتمدة على التزود المستمر بالحديد في الخشب عن طريق رش الأوراق. الصورة الرئيسية التي فيها ينتقل الحديد في الخشب تكون سترات الحديد

.(Tiffin (1972)) Ferric citrate

2.2.13 الوظائف الكيموحيوية Biochemical functions

إن ميل الحديد لتكوين معقدات مخلبية ومقدرته على تغيير تكافؤه هما ميزتان مهمتان لهما الأولوية في تأثيراته الفسيولوجية العديدة ($Fe^{+2} \leftrightarrows Fe^{+3} + \bar{e}$). إن الوظيفة المعروفة جيداً للحديد تكون في أنظمة الأنزيمات في الهيم Heam أو وظيفة الدم Haemin كمجموعات الأعضاء (تكميلية) (أنظر الشكل 3.1). هنا يلعب الحديد دوراً مشابهاً إلى حدٍ ما للماغنسيوم في تركيب البروفرين Porphyrin في الكلورفيل. تضم أنظمة أنزيمات الدم Haem هذه أنزيمات العامل المساعد Catalase والبيروكسيديز Peroxidase تساعد في التفاعلات التالية:

$$\text{Catalase: } H_2O_2 + H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$$
$$\text{Peroxidase: } AH_2 + H_2O_2 \rightarrow A + 2H_2O$$

إن الدور الدقيق لهذه الأنزيمات في أيض النبات لا يكون مفهوماً حتى الآن. لقد عرف الكثير عن وظيفة السيتوكرومات في نقل الألكترون وتدخل أنزيم اكسيديز السيتوكروم Cytochrom oxidase في الخطوة الرئيسية لسلسلة التنفس عند نقص الحديد يكون هناك انخفاض في نشاط كل الأنزيمات رغم أن التأثير لا يكون واضحاً جداً في حالة أنزيم البيروكسيديز Peroxidase ((Price (1968)).

يُعتبر تركيب صيغات الهم Haem حوالي 0.1 % من الحديد الكلي رغم أهميتها العالية في الأيض في أوراق النبات ((Dekock et al. (1960)). كثيراً ما يخزن الحديد المتبقي

كبروتين فوسفات الحديد Ferric phospho-protien ويسمى فيتوفيريثين Phytoferriyin. لقد أقترح (1963) .Hyde et al أن الفيتوفيريثين في الأوراق يمثل الحديد المخزون يستعمل بالبلاستيدات المتطورة لأجل الاحتياجات عملية التمثيل الضوئي. هذا يوافق ملاحظة (1970) Barton الذي لاحظ كميات كبيرة من الفيتوفيريثين في الكلوروبلاست ويؤكد على دلائل سابقة بأن الكلوروبلاست تكون غنية بالحديد لاحتوائها على كمي تصل حوالي 80% من الحديد الكلي في النباتات ((1939) Neish). هناك شكل آخر للحديد يوجد في الكلوروبلاستات وهو الفيريدوكسن Ferredoxin. هذا يكون بروتين الحديد غير الهيمي Nonhaem-iron protein الذي يترسب في عمليات الأكسدة والاختزال -Oxido reduction بواسطة نقل الالكترونات. إن أهمية الفيريدوكسن Ferredoxin كنظام أكسدة واختزال Redox system في عملية التمثيل الضوئي واختزال النتريت Nitrite واختزال الكبريتات وتمثيل النيتروجين N_2 قد شرحت سابقاً (أنظر 22.3) والشكل (16.3). بروتينات الحديد غير الهيمية تكون واسعة الانتشار في الكائنات الحية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي والتي لا تقوم بها.

هناك علاقة جيدة في النباتات الخضراء بين مستوى تزويد الحديد ومحتوى الكلورفيل حيث أن النباتات المزودة جيداً بالحديد سيكون محتوى الحديد فيها عالياً ((Dekock etal. (1960). Jacobson and Oertli (1956)). هذه العلاقة مبينة في الجدول (1.13). وتوضح أيضاً تأثير الحديد على نشاط أنزيمات Catalase والبيروكسيديز Peroxidase. لقد لاحظ ((Machold and Seholz (1969)) أن إضافة الحديد 59 المشع

لنباتات الطماطم التي تعاني من اصفرار نقص الحديد كان توزيع الحديد – 59 في الأوراق مطابق تماماً للمساحات التي حدث فيها اخضراراً مرة أخرى. هذا يكون موضحاً في اللوحة (1.13).

ليس من المدهش لهذا النوع من الأدلة بأن البحث عن وظيفة ممكنة للحديد في عملية تكوين الكلوروفيل تلفت انتباهاً كبيراً. طريقة الأيض المستخدمة في تكوين الكلوروفيل تكون موضحة في الشكل (1.13) ونفس الطريق يكون أيضاً فعالاً في التمثيل الحيوي للهيم Haem (الصيغة شكل (3.1)). في نقص الذي قد لوحظ في معدلات تكثيف الجليسين Glycine والسكسنيل كوانزيم Succiny CoA لعمل حامض دلتا أمينو – لفتيك (ALA) δ—amino-laevulinic acid المادة التي تشكل منها مادة بورفرين Porphrine (March et al. (1963), Bogoard (1960)).

حسب March and Stephan (1969) فإن الحديد يكون أيضاً ضرورياً في خطوة الأكسدة من مركب الكوبروبورفرنجين Coproporphyrinogen إلى بروتوبورفيرنجين Protoporphyringen في تمثيل الكلورفيل. ما زال هناك جدال كبير فمياً إذا كان للحديد دور مباشر في تكوين الكلورفيل. في مراجعة لوظائف الحديد في النباتات فقد اقترح Price et al. (1972) بأن الحديد يشترك مباشرة في تكوين التمثيل الأنزيمي للبورفيرنات Porohyrins وادعوا بأن ما لوحظ من تأثيرات ذكرت سابقاً تكون أسبابها غير مباشرة. لقد بين Terry (1980) بأن إجهاد الحديد يسبب إخفاق في تكون وحدات التمثيل الضوئي.

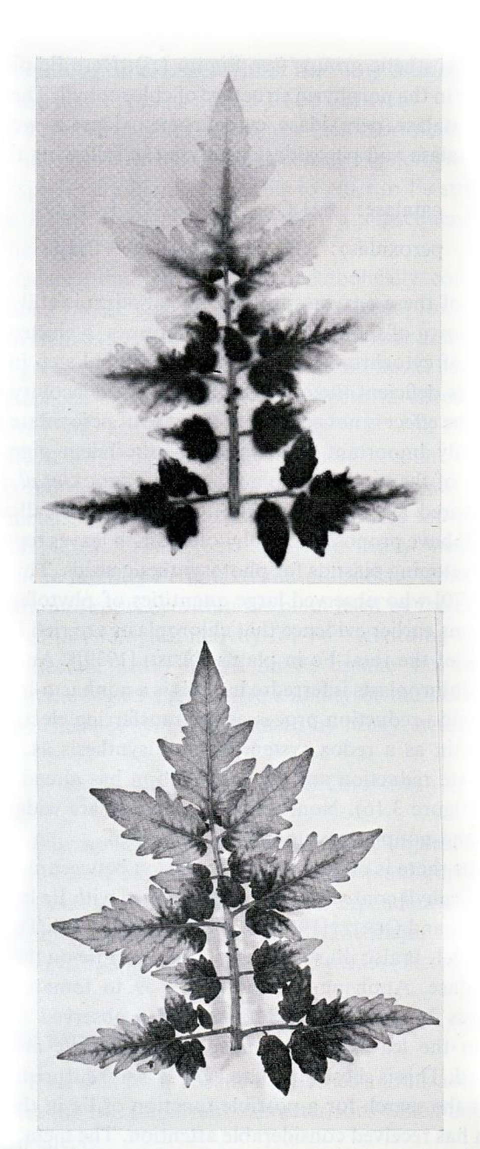


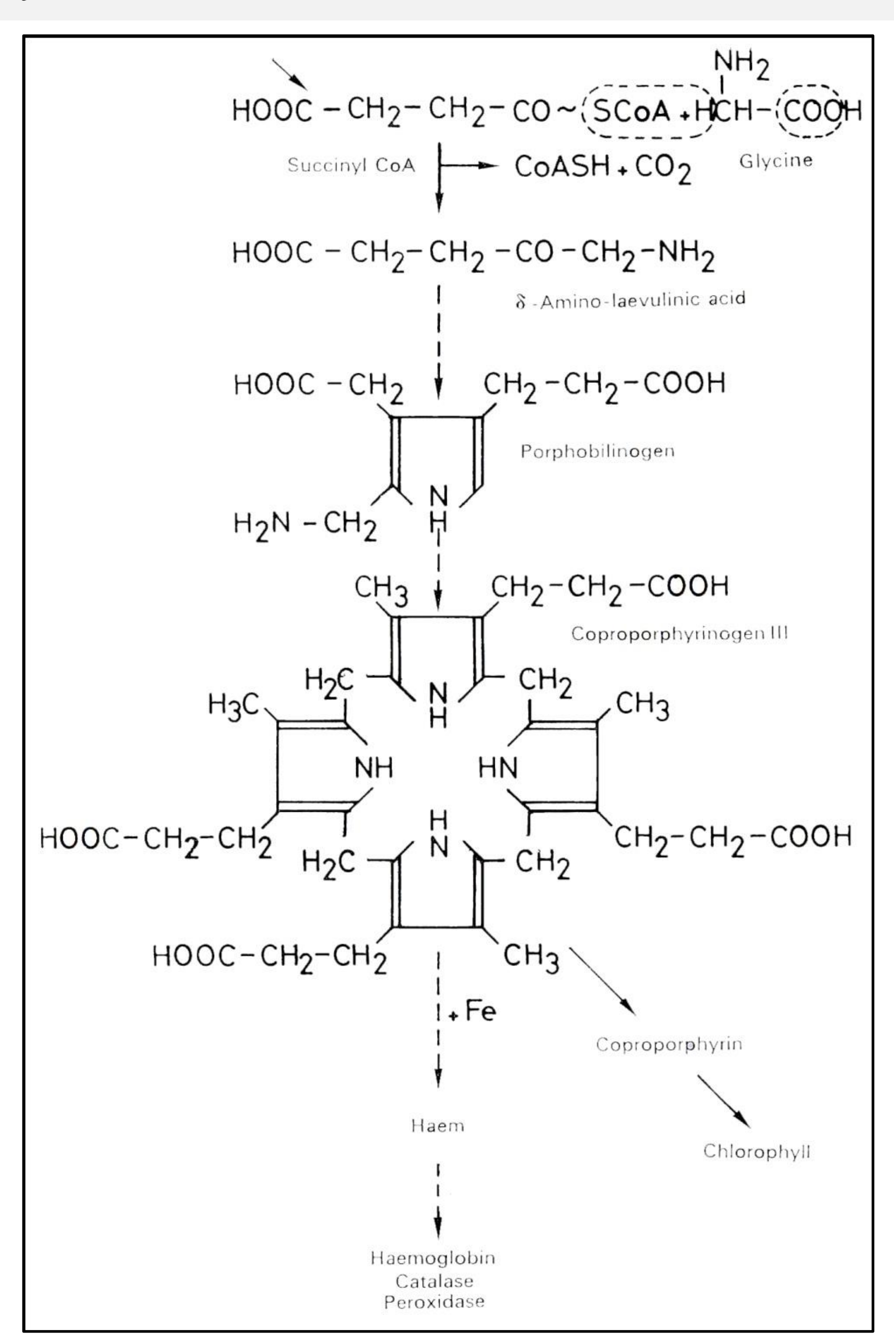
Plate 13.1 Uptake of Fe-59 by a chlorotic tomato leaf. The distribution of Fe-59 in the autoradiograph (above) corresponds exactly to the area of the leaf in which regreening occurred (below).
(Photo: Machold and Scholz)

Table 13.1 Effect of Fe supply on the Fe and chlorophyll contents and on enzyme activities in tomato leaves (MACHOLD [1968])

Treatment	Fe content, μg/g FW		Chlorophyll	Rel. enzyme activity	
	HCl soluble	Total	mg/g FW	Catalase	Peroxidase
Adequate Fe.......	10.3	18.5	3.52	100	100
Inadequate Fe	4.3	11.1	0.25	20	56

إن الاشتراك المحتمل للحديد في أيض البروتين قد كان متوقعاً من نتائج عدد من الباحثين الذين لاحظوا أن في حالة نقص الحديد يتناقص جزء البروتين في نفس الوقت مع زيادة في مستوى مركبات النيتروجين العضوية الذائبة (Perur et al. (1961), Possingham (1956), Iljin (1951), Bennett (1945)). لقد وجد Iljin (1951) أنه في أشجار الفاكهة التي تعاني من نقص الحديد يكون محتواها من البروتين حوالي نصف محتوى الأوراق السليمة.

من تجارب قصيرة الأمد على طحلب أيوجلينا جراسلس Euglena gracilis يبدو أن الحديد يكون مشتركاً مباشرة في أيض الحامض النووي. لقد وضح Price et al. (1972) بأن في الطحالب ذات نقص حديد تحتوي الكلوروبلاستات على أقل من نصف كلوروبلاست ريبوزوم الحامض النووي RNA وكلوروبلاست الريبوزوم لتلك التي لا يوجد بها نقص حديد. هذه كانت قد أخذت في الاعتبار بأنها نتائج مباشرة لنقص الحديد. إن تثبيط احتياجات الحديد في تثبيت النيتروجين واختزال النترات يظهر أنه يعتمد على تأثير بروتينات الحديد غير الهيمي على نقل الألكترونات (Price (1968)).


HOOC – CH2 – CH2 – CO ~ SCoA + H CH – COOH
NH2
Succinyl CoA
CoASH + CO2
Glycine
HOOC – CH2 – CH2 – CO – CH2 – NH2
δ -Amino-laevulinic acid
HOOC – CH2
CH2 – CH2 – COOH
Porphobilinogen
H2N – CH2
CH3
CH2 – CH2 – COOH
Coproporphyrinogen III
H3C
CH3
NH
HN
HOOC – CH2 – CH2
CH2 – CH2 – COOH
HOOC – CH2 – CH2
+ Fe
Coproporphyrin
Haem
Chlorophyll
Haemoglobin
Catalase
Peroxidase

3.2.13 نقص وسمية الحديد Iron deficiency and toxicity

إن حالات نقص الحديد والماغنسيوم تكون إلى حدٍ ما متشابهة حيث أن كلاهما يتميز بانخفاض في إنتاج الكلورفيل على عكس نقص الماغنسيوم فإن نقص الحديد يظهر على الأوراق الحديثة. في معظم أنواع النباتات يكون الاصفرار فيما بين العروق والشبكة الرقيقة لأنسجة الأوراق الحديثة التكوين والعروق الداكنة الاخضرار تتباين بدرجة كبيرة ضد خلفية اللون الأخضر الفاتح أو الاصفرار. الأوراق الأكثر حداثة في التكوين قد تظهر بيضاء اللون بالكامل وخالية تماماً من الكلورفيل. في أوراق محاصيل الحبوب تظهر أعراض النقص على شكل أشرطة متبادلة اللون الأصفر والأخضر على امتداد طول الورقة. بما أنه توجد تراكيز عالية من الحديد في الكلوروبلاستيدات فليس من الغريب أن يسبب نقص الحديد تغيرات كبيرة في تركيبها. لقد لاحظ Vesk et al. (1968) انخفاضاً في عدد وحجم الجرانا Grana عند نقص الحديد.

هناك أنماط من التراكيب الكيميائية وهي تعتبر معروفة جداً تظهر غالباً في النباتات التي تعاني من نقص الحديد، وعلى الأخص فإن نسبة الفوسفور تكون أعلى في الأنسجة التي تعاني من النقص مقارنةً بالأنسجة الخضراء. حتى الآن ما زالت مسألة تخمين فيما إذا كانت النسبة العالية $_{الحديد}/^{الفوسفور}$ الموجودة في الأنسجة الصفراء تكون بسبب الشحوب في اللون أو نتيجة له.

إن الصافي من الهيدروجين المتحرر من جذور أنواع النباتات لامتصاص الحديد قد تعاني من نقص الحديد ستكون كانعكاس لتغير في امتصاص الأيون من زيادة طبيعية في

امتصاص الأنيون عن امتصاص الكاتيونات للتغذية بالنترات NO^-_3 (أنظر 9.1.3) إلى زيادة امتصاص الكاتيون على امتصاص الأنيون ((Venkat Raju abd Marschner (1972). هذا التغير في امتصاص الكاتيون – الأنيون ينتج عنه زيادة في تراكم الأنيونات العضوية داخل النبات ((Scherer (1978). وخاصةً حامض الستريك الذي غالباً يكون مرتفعاً في جذور النباتات التي تعاني من نقص الحديد. لقد بين Dekock et al. (1979) أن تراكم هذا النوع من الحامض أنسجة النبات ذو الاصفرار يكون له علاقة بمستوى الحديد المنخفض نسبياً والذي يكون موجوداً في النباتات التي تعاني من نقص الحديد. يعتبر الحديد اكونتك Aconitic. وبذلك يكون انخفاض مستوى الحديد مشتركاً مع انخفاض نشاط أنزيم أكونيتيز وأيضاً مع تراكم حامض الستريك ((Deckock and Morrison (1958). المميزات النموذجية الأخرى لنقص حديد الأنسجة يتضمن تراكم الأحماض الأمينية والنترات؛ خاصةً تراكم النترات الذي يكون دليلاً كبيراً على اضطراب في طاقة الأيض.

إن سمية الحديد تكون مشكلة خاصة في ترب الأرز المغمورة حيث أن خلال أسابيع قليلة قد يؤدي الغمر إلى زيادة في مستوى الحديد المذاب من 0.1 جزء في المليون إلى 50–100 جزء في المليون حديد ((Ponnamperuma (1978).

سمية الحديد في الأرز تكون معروفة باللون البرونزي (البرونزية Bronzing). وفي هذا الخلل تكون الأوراق مغطاة ببقع بنية بالغة الصغر والتي تتطور إلى لون بني منتظم. هذا يحدث كثيراً في أوراق الأرز المحتوية على أكثر من 300 جزء من مليون حديد ((Tanala and Yoshida (1970). سمية الحديد تكون معروفة في مناطق مختلفة لزراعة الأرز

وتكون مألوفة خاصةً في الترب الثقيلة ((Tanaka et al. (1973)، وفي الغالب يشترك مع نقص البوتاسيوم. لقد بين Trolldenier (1973) أن عند تغذية البوتاسيوم غير الكافية تكون مقدرة جذور الأرز لأكسدة الحديديك إلى الحديديوز معوقة.

3.13 الحديد في تغذية النبات Iron in crop nutrition

1.3.13 تيسر الحديد Iron availability

إن محتوى أنسجة النبات الخضراء من الحديد يكون منخفضاً مقارنةً بالعناصر الغذائية الكبرى Macronutrients وعامةً فإن حوالي 100 جزء في المليون يكون في المادة الجافة وغالباً يكون هذا المحتوى منخفضاً بوضوح في حبوب المحاصيل والدرنات والجذور. الحديد الكلي في التربة يكون دائماً أكثر مما تحتاجه النباتات. حسب Lindsay (1974) فإن معظم المحاصيل الزراعية تحتاج إلى أقل من 0.5 جزء في المليون في الطبقة المحروثة للتربة بينما مستوى الحديد الكلي يكون حوالي 2 % أو 20.000 جزء في المليون في التربة. أي مشكلة في تزويد النباتات بالحديد من التربة ترجع دائماً إلى تيسر الحديد.

إن إذابة الحديد غير العضوي يعتمد بدرجة كبيرة على الرقم الهيدروجيني للتربة. إن تأثير الرقم الهيدروجيني على ذوبان الحديديك Fe^{+3} والحديدوز Fe^{+2} والحديد الكلي المذاب تكون في توازن مع أكسيد الحديد الموضح في الشكل (2.13). لقد استنتج Lindsay (1974) أن لتمكين الجريان الكتلي Mass flow لتقل كمية حديد كافية للجذور يجب أن يكون الذوبان الكلي للحديد 10^{-6} مول على الأقل. كما يلاحظ من الشكل (2.13) أن هذا المستوى من الحديد غير العضوي الذائب يصل إلى هذا الحد عند الرقم

الهيدروجيني 3 فقط، وبرفع الرقم الهيدروجيني إلى أكثر من 4 يمكن الحصول على 1 % فقط من الحديد المطلوب. عليه حتى مستويات الـ PH. المعتادة تساهم في السماح بعملية الانتشار (1971) Óconnor et al. ومستويات الحديد غير العضوي تكون أقل بكثير من تلك المستوى المطلوب للنباتات. يظهر إذن بأن النباتات النامية في التربة تكون معقدات الحديد العضوي الذائب خاصةً المخلبيات التي تلعب دوراً هاماً في التزيدبالحديد. هذه المركبات قد تنشأ كإفرازات من الجذور ومن المادة العضوية الذائبة في التربة. لقد بين (1965) Webley abd Duff أن حامض ألفاكيتوجلوكونك α − Ketogloconic acid التي يفرزها الريزوسفير Rhizosphere قد تذيب الحديد الذي يمكن أن تمتصه النباتات. وحسب (1974) Lindsay فإن تراكيز الحديد المخلبي المنخفضة إلى حوالي10^{-8} — 10^{-7} مول هي تقدير مناسب عندما يشارك كل الانتشار والتدفق الكتلي في عملية الانتقال.

يبين الشكل (3.13) تخطيطاً يوضح دور المخلبيات التي تفرزها الشعيرات الجذرية لإذابة أيونات المعدن (M) مثل الحديد الموجود في الطور الصلب للتربة. معقد الحديد والذي بهذا قد يكون ذائباً ينتشر إلى خلايا الجذر حيث يتم امتصاصه. إن أهمية إفرازات الجذور في تيسر الحديد قد وضحها (1972) Venkat Raju and Marschner و .Marschner et al (1974) الذين لاحظوا تحرر مواد مختزلة من جذور نباتات عباد الشمس النامية في محلول مغذي تحت ظروف نقص الحديد التي تلت ترسيب فوسفات الحديد الثلاثي في المحلول. هذا التحرر كان يصحبه انخفاض في الرقم الهيدروجيني في المحلول المغذي بسبب زيادة امتصاص النباتات للكتيونات عن امتصاص الأنيونات ((1972) .Venkat Raju et al). إن الانخفاض

في الرقم الهيدروجيني وتأثير إفرازات الجذور والتأثير الاختزالي لهذه الإفرازات تنظم الحديد المترسب باختزاله إلى حديدوز Fe^{+2} وبذلك تحسن تيسر الحديد مع حدوث عملية اخضرار للنباتات.

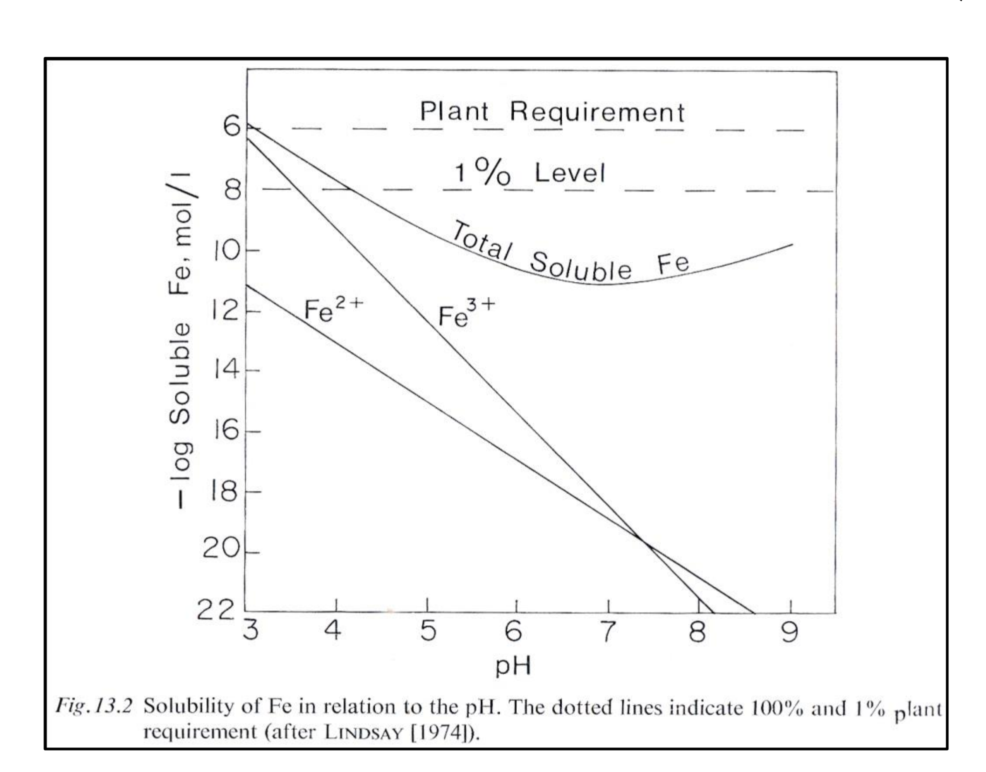


Fig. 13.2 Solubility of Fe in relation to the pH. The dotted lines indicate 100% and 1% plant requirement (after LINDSAY [1974]).

إن أهمية قمم الجذور في تغذية النباتات بالحديد قد أكدها Clarkson and Sanderson (1978) حيث بين البحث أن قمم الجذور فقط وليس أجزاء قاعدة الجذور تكون لها القدرة على امتصاص الحديد. منطقة التلامس بين الجذور والتربة ذات العلاقة بامتصاص الحديد تكون محدودة جداً وحسب هذه البحوث فإن التطور في قمم الجذور

الجديدة يجب أيضاً أن يلعب دوراً مهماً في تحديد جهد النباتات لامتصاص الحديد.

ليست كل أنواع النباتات متساوية القابلية لظهور اصفرار ونقص الحديد الذي

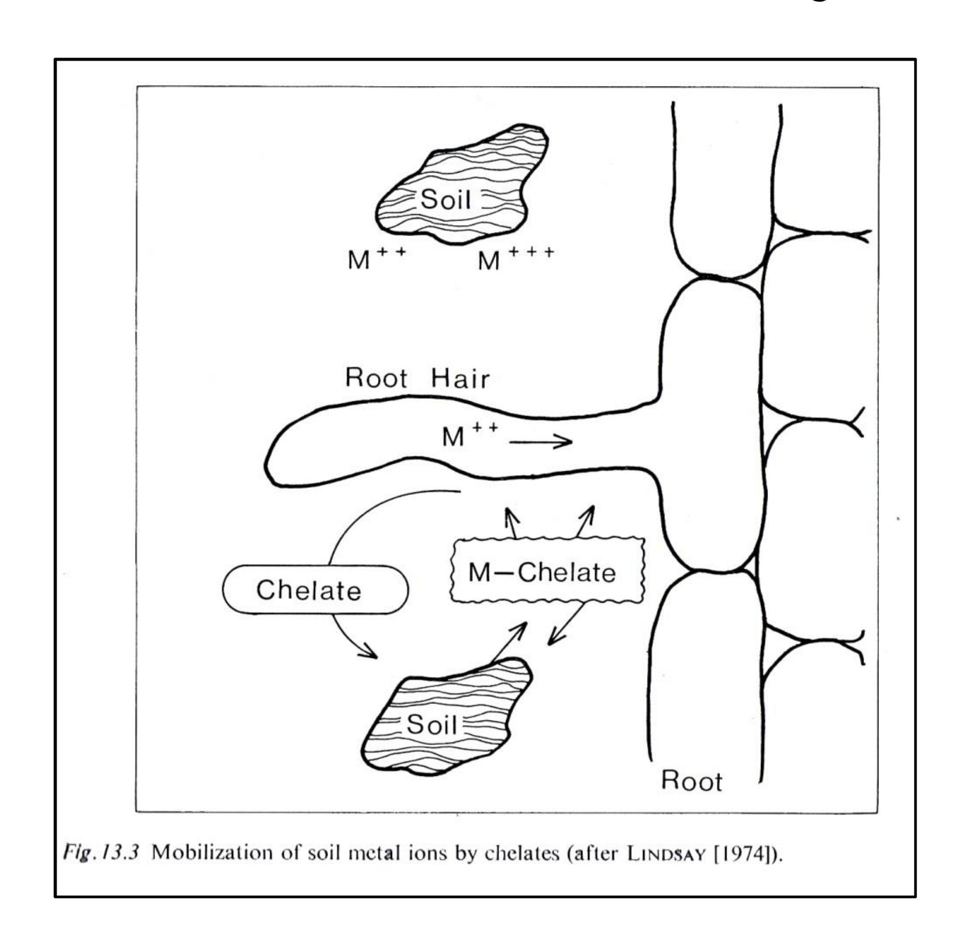


Fig. 13.3 Mobilization of soil metal ions by chelates (after LINDSAY [1974]).

لوحظ في أنواع النباتات الكلسية مثل الأزالية Azalea ورودودندرون Rhododendron والعنبية Blueberry. أما المحاصيل التجارية المهمة الأكثر تأثيراً فهي السرجوم والبقوليات والأرز والطماطم.

2.3.13 الاصفرار المحفز بالجير Lime Induced Chlorosis

قد تنتج الأعراض الصفراء Iron chlorosis من النقص المطلق للحديد في التربة ومثل هذه الحالات قد توجد على ترب متحللة لكنها ليست مألوفة. تظهر أعراض نقص الحديد في الترب الكلسية وهذا الاصفرار المحفز بالجير لا يكون سببه نقص الحديد المطلق. في معظم الحالات لا تظهر حتى لنتيجة انخفاض حاد في تيسر الحديد في التربة لكن تكون بالأحرى خلل فسيولوجي. تتميز الترب الكلسية بارتفاع محتوى الكربونات وارتفاع تراكيز الكالسيوم في محلول التربة وارتفاع مستوى الرقم الهيدروجيني. كل هذه العوامل قد ثبت أنها كسبب للإصفرار المحفز بالجير لكن الآن أصبح أن ليس لأي منها تحفيز مباشر في نقص الحديد. إن العامل الأكثر أهمية الذي يسبب ظاهرة الجير المحفز لنقص الحديد يكون البيكربونات HCO^-_3 كأيون يؤثر على امتصاص ونقل الحديد في النبات كما تبين ذلك في الأزاليا Azalea ((Rutland (1971) وفي الأقحوان Chrysanthemum. الدليل واضح في الجدول (2.13) بأن امتصاص الحديد الكلي للأزاليا كان قد انخفض قليلاً بوجود البيكربونات HCO^-_3 في المحلول المغذي وكذلك فإن نقل الحديد في اتجاه إلى الأوراق الحديثة كان قد تأثر معنوياً. يوجد هناك الآن دليل بأن أعراض نقص الحديد المتكررة في مواقع الترب الكلسية هي في الأساس لا تنتج بسبب انخفاض تيسر الحديد في التربة لكن بسبب خلل فسيولوجي تحفزه البيكربونات HCO^-_3 الزائدة ((Mengel et al. (1979). من المفترض أن غزارة البيكربونات في الوسط الجذري ينتج عنه تقييد حركة الحديد Immobilization في النبات، كما هو مبين في الجدول (3.13). عينات الأوراق التي حُللت جُمعت من أعناب

نامية في موقع تربة كلسية معروف بإنتاجه الاصفرار بسبب الحديد على هذا المحصول والحديد الكلي لم يكن مختلفاً بين الأوراق الخضراء والأخرى الصفراء.إن الاختلافات الرئيسية كانت موجودة في جزء الحديد الذائب في حامض الهيدروكلوريك بتركيز 0.5 عياري. وهذا الجزء من الحديد كان منخفضاً بوضوح في الأوراق المصّفرة مقارنةً بالأوراق الخضراء. بإضافة السكوسترين Sequestrene نتج عنه زيادة كبيرة في هذا الجزء من الحديد (السكوسترين: Fe:EDDHA خلات هيدروكسيفينول ثنائي أمين اثيلين الحديد Fe-ethylene diamine (di-o-hyoxyphenol acetate)). المستوى الحرج وهو 48 جزء في المليون حديد مذاب في حامض هيدروكلوريك 0.5 عياري في المادة الجافة بتوافق جيداً مع المستوى الحرج للحديد الذائب في حامض الهيدروكلوريك HCL من أوراق التبغ (47جزء في المليون (Jacobson (1945)).

Table 13.2 Effect of HCO_3^- in the nutrient solution on the uptake and distribution of labelled Fe in *Azalea* (RUTLAND [1971])

	Young leaves cpm	Old leaves	Stems	Roots
without HCO_3^-	420	70	75	1638
with HCO_3^-	272+	87	76	1438

+ significant difference at 5% level

Table 13.3 Fe solubility in green and chlorotic leaves of *Vitis vinifera* (MENGEL *et al.* [1979])

	H_2O ppm Fe in DM	0.5 N HCl	1.0 N HCl	Total Fe
Green leaves	4.8	48	24	107
Young chlorotic leaves	4.8	36	29	108
Old chlorotic leaves	4.8	36	28	108
Green leaves, treated with sequestrene	7.2	58	33	139

بسبب خفض حركة الحديد في النباتات عند وجود بيكربونات HCO^-_3 ليس واضحاً حتى الآن. من المحتمل أن ارتفاع امتصاص النباتات للبيكربونات قد ينتج عنه زيادة في الرقم الهيدروجيني في أنسجة النبات والذي يؤدي إلى تقيد حركة الحديد. هذا الافتراض ينسجم مع الملاحظة بأن اصفرار نقص الحديد غالباً عندما تزود النباتات بالنترات أكثر مما هو مع الأمونيوم ((Machlod (1967) حيث أن تأثير تغذية بالنترات معروفة بأنه قاعدي على أنسجة النبات وتغذية الأمونيوم تتميز بتأثيرها الحامضي (أنظر 9.1.3). ارتفاع مستوى التغذية بالنترات قد يدعم حدوث اصفرار بسبب نقص الحديد (Aktas and Egmond (1979)).

في الترب الكلسية قد تتراكم البيكربونات HCO^-_3 والذي يرجع إلى ارتفاع مستوى الرقم الهيدروجيني وإذابة الكربونات حسب المعادلة الآتية:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{+2} + 2HCO^-_3$$

الانحلال يحتاج لثاني أكسيد الكربون الذي ينتج بالجذور وتنفس الأحياء الدقيقة. إذا كانت تهوية التربة وبنائها ملائم فإن ثاني أكسيد الكربون قد ينبعث من وسط التربة ولا تتراكم البيكربونات. تحت ظروف الرطوبة العالية للتربة خاصةً التي تكون ضعيفة البناء قد تتراكم البيكربونات بتراكيز عالية قد تصل إلى حوالي 400 – 500 جزء في المليون وبذلك يكون من المرجح جداً زهور اصفرار نقص الحديد. هذا تم توضيحه في أشجار الفاكهة بواسطة (Boxma (1972 وفي الموالح ((Kovanci et al. (1978). هذه النتائج متوافقة مع الملاحظة بأن اصفرار نقص الحديد يكون غالباً موجوداً تحت ظروف المناخ الممطر عندما

تكون رطوبة التربة عالية وتهويتها رديئة.

إن تحسين بناء التربة يكون بذلك أحد أكثر المقاييس أهمية للتحكم في الاصفرار الناتج من نقص الحديد. زراعة المحاصيل ذات الجذور العميقة (أنواع الكرنب Brassica species) في ترب مزارع العنب فيما بين سطور العنب يخفض ضرر اصفرار نقص الحديد. إضافة الأسمدة العضوية يكون مشكوكاً فيها من حيث تصحيح نقص الحديد رغم أن تركيب التربة قد يتحسن وتحفيز ثاني أكسيد الحديد على الأوراق. لقد أثبت أن معقد الحديد Fe-EDDHA (خلات ثنائي هيدروكسيفينيل اثيلين ثنائي الأمين Ethylene diamine (di o-hydroxyphenylacetate) فهو معقد مخلبي ملائم لهذا الغرض مقارنةً بمعقد الحديد Fe-EDTA (رباعي خلات اثيلين ثنائي الأمين Ethylene diamine tetra acetate) الذي لا يكون مستقر بدرجة كافية (أنظر2.1). من الضروري إضافة المعقد أكثر من مرة لتصبح السيطرة على نقص الحديد ناجحة.

لقد عرف الفوسفات على أنه المحفز الحقيقي لاصفرار نقص الحديد في الترب الكلسية ((Miller (1960), Gärtel (1951)). في محاولات ,Mengel et al. (1979) Kovanci et al. (1978) كانوا غير قادرين على إيجاد أي علاقة بين حدوث الاصفرار تحت الظروف الحقلية ومستوى الفوسفات المتيسر في التربة. في تجربة لستة أنواع من العنب نامية في أصص بها ترب كلسية وجد بأن نوعاً واحداً ظهر عليه اصفرار نقص الحديد عندما أضيفت مستويات عالية جداً من الفوسفات ((Marschner and Schropp (1977)). يبدو من المعقول أن الإفراط في الفوسفات قد يجعل اصفرار نقص الحديد أشد سوءاً في الترب

الكلسية، يجب أن نتذكر بأن مستوى الفوسفات الذائب في الترب الكلسية يكون عموماً منخفضاً وبأن أسمدة الفوسفات في هذه الترب تصبح غير ذائبة بسرعة.

اللوحة (2.13) تبين اصفرار نقص الحديد في بساتين العنب. فتاسماحات الفاتحة اللون والمخططة الظاهرة في الصورة تكون بسبب أعراض نقص الحديد على الأوراق المصفرة. حتى في أشجار الغابة للصنوبر الاسكتلندي Pinus silvestris لوحظ أن الجير قد حفز اصفرار نقص الحديد ((Carter (1980), Zech (1970)). الأصناف لنوع معين من المحاصيل ربما يختلف بدرجة كبيرة في حساسيتها لنقص الحديد وظهور الاصفرار. هذا كان واضحاً في فول الصويا والذرة والطماطم ((Brown et al. (1972)) وفي الأعناب ((Saglio (1969)). لقد قرر Brown (1963) أنه تحت إجهاد الحديد ينطلق هيدروجين من جذور أصناف الفول الصويا المقاومة لنقص الحديد أكثر من الجذور للأصناف الحساسة، في تجربة مقارنة قد وجد صنفان من العنب كان إفراز الهيدروجين من الجذور كبير في الصنف المقاومة لنقص الحديد ((Malissiovas (1980)). لقد اقترح Mengel and Mallissiovas (1981) أن إفراز الهيدروجين نتج عن معادلة البيكربونات في منطقة الجذور Rhizophers وبذلك تسيطر على اصفرار الحديد.

يحدث أحياناً اصفرار الحديد في التطبيق العملي نتيجة المستويات العالية من المعادن الثقيلة في التربة والمثال الأوسع انتشاراً المعروف هو المنجنيز Mn. فعندما تكون نسب المنجنيز/ الحديد عالية في الوسط الغذائي تزداد أعراض نقص الحديد. التأثير لا يظهر لعلاقته بالامتصاص لكن لعدم الانتظام في النشاط الأنزيمي للحديد رغم أن الآلية الصحيحة غير

واضحة بدقة. لقد أُقترح بأن المنجنيز قد ينافس على مواقع الربط التي تكون عادةً مشغولة بالحديد. لقد كان مسلماً به سابقاً بأن نقص الحديد وسمية المنجنيز والعكس صحيح يمكن تحديدها على أنها عدم انتظام فسيولوجي متشابه ((Somers and Shive (1942)). وهناك دليل أكثر حداثة يقترح اختلافات مميزة ((Hewitt (1963))، فنقص الحديد يبدأ بشحوب

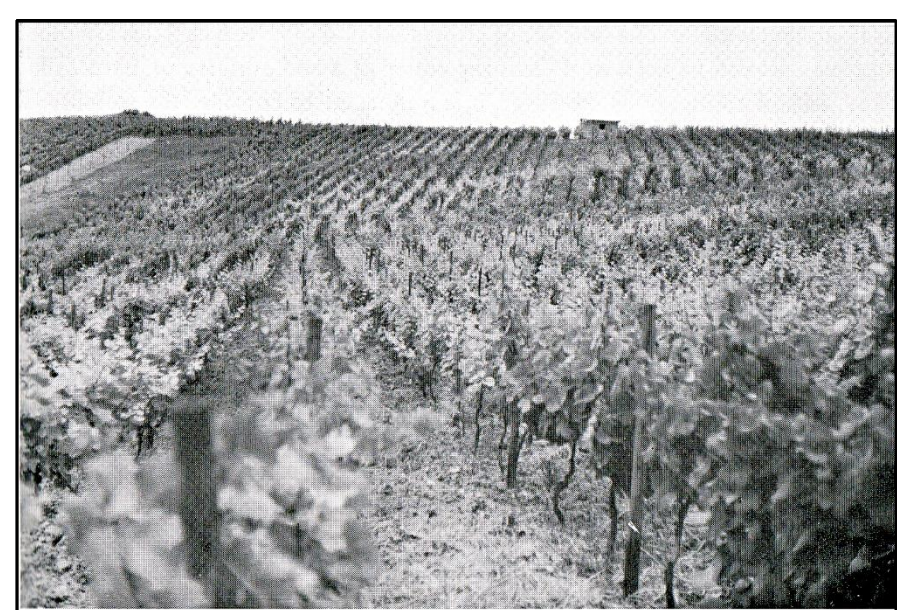


Plate 13.2 Iron chlorosis in a vineyard. White areas indicate the vines with Fe deficiency. (Photo: GÄRTEL)

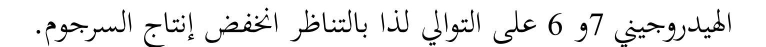
منتظم بعض الشيء على الأوراق الحديثة التكوين بينما في أنواع كثيرة تبدأ سمية المنجنيز بظهور بقع صفراء على الأوراق القديمة. في حالة نقص المنجنيز تصبح المساحات فيما بين العروق صفراء بينما في حالة سمية الحديد يزداد محتوى الورقة من الصبغة. إن وفرة المعادن الثقيلة الأخرى في التربة يتضمن النحاس Cu والكروم Cr والنيكل Ni والزنك Zn

يمكن أن تحفز أعراضاً مطابقة في مظهرها لأعراض نقص الحديد. العلاقة بين سمية المعادن الثقيلة واصفرار الحديد المحفز قد روجع بدقة بواسطة Foy et al. (1978), Hewitt (1963).

3.3.13 إضافة الحديد Iron application

في معاملة اصفرار نقص الحديد بإضافة أملاح حديد غير عضوي للتربة يكون غالباً بدون تأثير حي يتحول الحديد بسرعة إلى أكاسيد غير ذائبة. حتى معاملة رش الأوراق بأملاح حديدوز لا تكون دائماً مرضية. مخلبيات الحديد تكون أكثر فاعلية ويمكن أن تستعمل كأسمدة تضاف إلى التربة أو ترش على الأوراق. في الإضافات للتربة أنه من الأهمية الأخذ في الاعتبار ثبات المعقد المخلبي خاصةً العلاقة مع الرقم الهيدروجيني للتربة. فعند المستويات العالية للرقم الهيدروجيني في التربة الموجود بها كالسيوم بتراكيز عالية بحيث يزيح الحديد من المخلبيات الأقل ثباتاً مما ينتج عنه ارتفاع مخلب الكالسيوم وترسيب أكسيد الحديد وبذلك يجعل الحديد غير ميسر. الاختلافات في ثبات المخلبيات منعكس في استجابات النبات. نتائج Linsday et al. (1967) تبين استجابة في إنتاج محصول السرجوم Sorghum لعدة مخلبيات حديد مختلفة لتصحيح نقص الحديد في تربة كلسية موضحة في الشكل (4.13).

المعقد Fe-EDDHA المخلبي للحديد الذي أعطى أعلى استجابة يكون ثابتاً خلال مدى الرقم الهيدروجيني 4–10 في حين ثبات FeDTPA (حامض خامس الخلات ثنائي أثيل ثلاثي الأمين Di ethyltriamine pentacetic acid) وFe-EDTA (حامض رباعي الخلات ثنائي أمين الأثيلين Ethylene diaminet eteraacetc acid) يقع أكثر بين الرقم


الهيدروجيني 7و 6 على التوالي لذا بالتناظر انخفض إنتاج السرجوم.

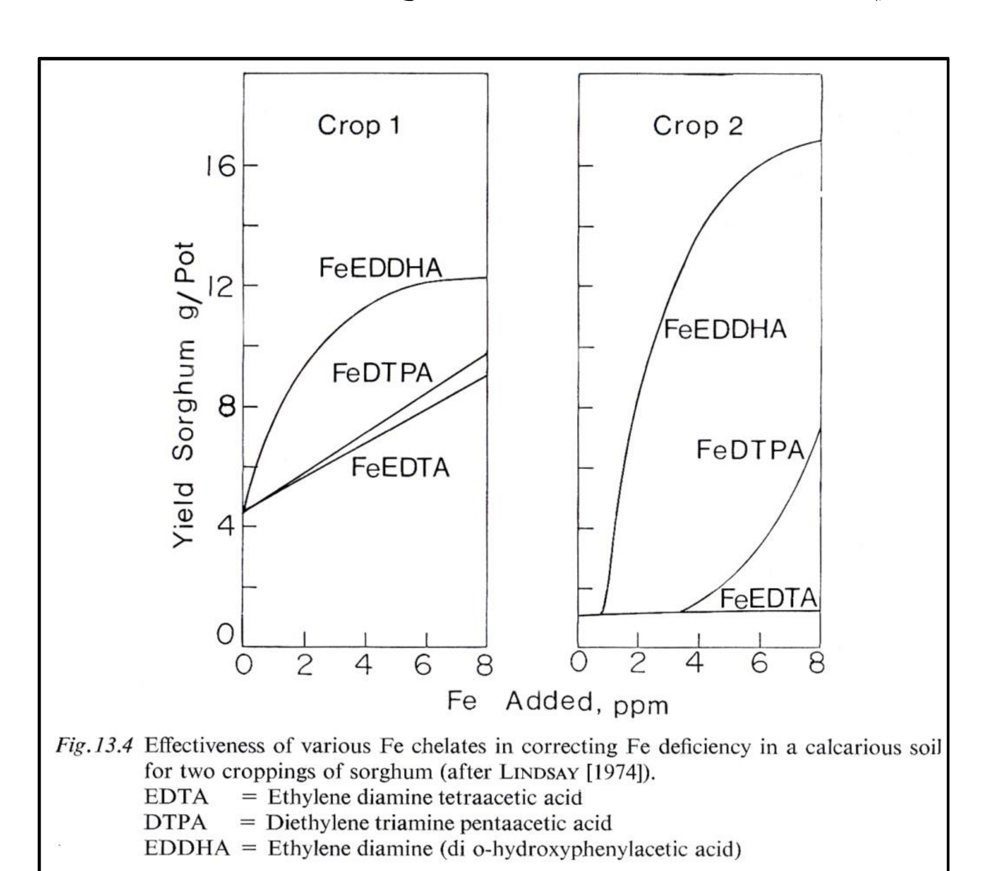


Fig. 13.4 Effectiveness of various Fe chelates in correcting Fe deficiency in a calcarious soil for two croppings of sorghum (after LINDSAY [1974]).
EDTA = Ethylene diamine tetraacetic acid
DTPA = Diethylene triamine pentaacetic acid
EDDHA = Ethylene diamine (di o-hydroxyphenylacetic acid)

لسوء الطالع فإن معظم المعقدات المخلبية الثابتة مازالت مرتفعة الأسعار للاستعمال التجاري. في الإضافات لحوالي 10 – 20 جرام من الحديد في شكل مخلبي للشجرة الواحدة من الحمضيات قد كان كافياً. الأشكال المختلفة من الحديد المستعملة وطرق الإضافة المستعملة للتغلب على اصفرار نقص الحديد قد تم توضيحها بوساطة Murphy and Walsh (1972). إن إضافة الأسمدة الأخرى قد يؤثر أحياناً بطريقة غير مباشرة على تزويد

النباتات بالحديد. الأسمدة الحامضية خاصةً أسمدة الأمونيوم يمكنها تخفيض أعراض اصفرار نقص الحديد، وهذا قد ينتج عنه انخفاض الرقم الهيدروجيني حول منطقة الجذور ((Lucas and Knezek (1977)).

قراءات عامة

General Reading

In addition to the general literature given below the following references are of interest.

LINDSAY, W.L.: Role of chelation in micronutrient availability, In: E.W. CARSON, (ed.): The Plant Root and its Environment, p. 507-524. University Press of Virginia, Charlotesville, 1974.

OADES, J. M.: The nature and distribution of iron compounds in soils. Soils and Fertilizers, 26, 69-80 (1963).

PRICE, C. A.: Iron compounds and plant nutrition. Ann. Rev. Plant Physiol., 19, 239-248 (1968).

PRICE, C.A.: Molecular Approaches to Plant Physiology. McGraw Hill, p. 244-249,1970 WALLACE, A. et ai.: Iron deficiency in plants and its correction. In Commun. in Soil Sci. and Plant Analysis 1, 1-127 (1976).

WALLIHAN, B.F.: Iron, In: H.D. CHAPMAN, (ed.). Diagnostic Criteria for Plants and Soils, p. 203-217. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

ZIIIZNEVSKAYA, G. Ya.: Iron in plant nutrition. Agrochemica, 17, 46-68, (1972).

الفصل الرابع عشر

المنجنيز

1.14 منجنيز التربة Soil manganese

يوجد المنجنيز Mn في مختلف الصخور الأولية وخاصةً في مواد المنجنيز الحديدي Ferromagnesian ويتحرر المنجنيز من هذه الصخور بوساطة التجوية مكوناً عدداً من المعادن الثانوية الأكثر شهرة ومنها بيرولوسيت Pyrolusite (MnO_2) والمانجنيت Manganite (MnOCOH) توجد أكاسيد المنجنيز والحديد كثيراً مع بعض في عقد ومجاميع حديد. مستويات المنجنيز الكلي تختلف بدرجة كبيرة فيما بين الترب وحسب Swaine (1955) أن محتويات المنجنيز 200–3000 جزء في المليون يكون أكثر انتشاراً. إن أكثر أجزاء المنجنيز أهمية في التربة هي أيون المنجنيز Mn^{+2} وأكاسيد المنجنيز التي تكون موجودة في صور ثلاثية أو رباعية التكافؤ. المنجنيز الثنائي التكافؤ يكون مدمصاً على معادن الطين والمادة العضوية ويكون أيضاً أكثر الصور أهمية في محلول التربة. العلاقة بين المنجنيز الثنائي Mn^{+2} وأكاسيد المنجنيز الموضحة في الشكل (1.14) وهذه تسمى بدورة المنجنيز في التربة حيث أن Dion and Maun (1946) بين أن التوازن بين الصور المختلفة للمنجنيز يتم التحكم فيها بوساطة عمليات الأكسدة والاختزال. إن الأيون Mn^{+2} هو الصورة الأكثر أهمية في تغذية النبات بالإضافة إلى أنه سهل الاختزال ويساهم في تزويد النبات بالمنجنيز. هذه الأجزاء مجتمعة (أيون المنجنيز والصور السهلة الاختزال) تسمى المنجنيز النشط Active manganese. بما أن مستوى المنجنيز في التربة يعتمد على تفاعلات الأكسدة والاختزال لذا فكل العوامل التي تؤثر في هذه العمليات لها تأثير على تيسر المنجنيز. هذه العوامل تضم الرقم الهيدروجيني للتربة ومحتوى المادة العضوية ونشاط الكائنات الحية ورطوبة التربة. تحت

ظروف غمر التربة مثل ترب حقول الأرز تكون عمليات الاختزال هي السائدة وبذا فهي تحتوي على مستوى مرتفع من المنجنيز المتيسر والذي قد ينتج عنه سمية المنجنيز (Tanaka and Yashida (1970)). بعد الغمر الذي يكون غالباً موازياً لاختفاء الأكسجين سيرتفع مستوى المنجنيز الذائب. ارتفاع تركيز المنجنيز النشط في الترب الحامضية قد يصل إلى مستويات سامة في حين أن مستواه لا يرتفع كثيراً في الترب الكلسية أو الصودية Sodic بعد عملية الغمر. يمكن أن يحدث نقص للمنجنيز في الأرز تحت ظروف الغمر لهذه الترب (Randhawa et al. (1978)).

موضح في الجدول (1.14) تأثير ظروف التربة غير هوائية (المغمور) وإضافة الجير على تيسر المنجنيز على البرسيم النامي على هذه التربة (Graven et al. (1965)).

Table 14.1 Effect of liming and a 3 day period of flooding on dry matter yield and Mn contents in lucerne (GRAVEN *et al.* [1965])

Treatment g $CaCO_3$/pot	Flooding	g, DM pot	Mn content ppm Mn in DM
0	−	3.1	426
0	+	1.2	6067
20	−	5.7	99
20	+	3.0	954

إن تيسر المنجنيز يكون أيضاً عالياً في الترب الحامضية بسبب ارتفاع إذابة مركبات المنجنيز تحت ظروف انخفاض الرقم الهيدروجيني. لقد أكد Lindsay (1972) بأن المنجنيز الذائب يقل 100 مرة لكل وحدة ارتفاع في الرقم الهيدروجيني. تحت ظروف ارتفاع الرقم

الهيدروجيني للتربة قد يكون تيسر المنجنيز غير كافٍ لسد احتياج النباتات حسب بحوث (1962) Page فإن الزيادة في الرقم الهيدروجيني يحفز أيضاً تكوين معقدات المادة العضوية لمنجنيز التربة مما يجعل المنجنيز أقل تيسراً.

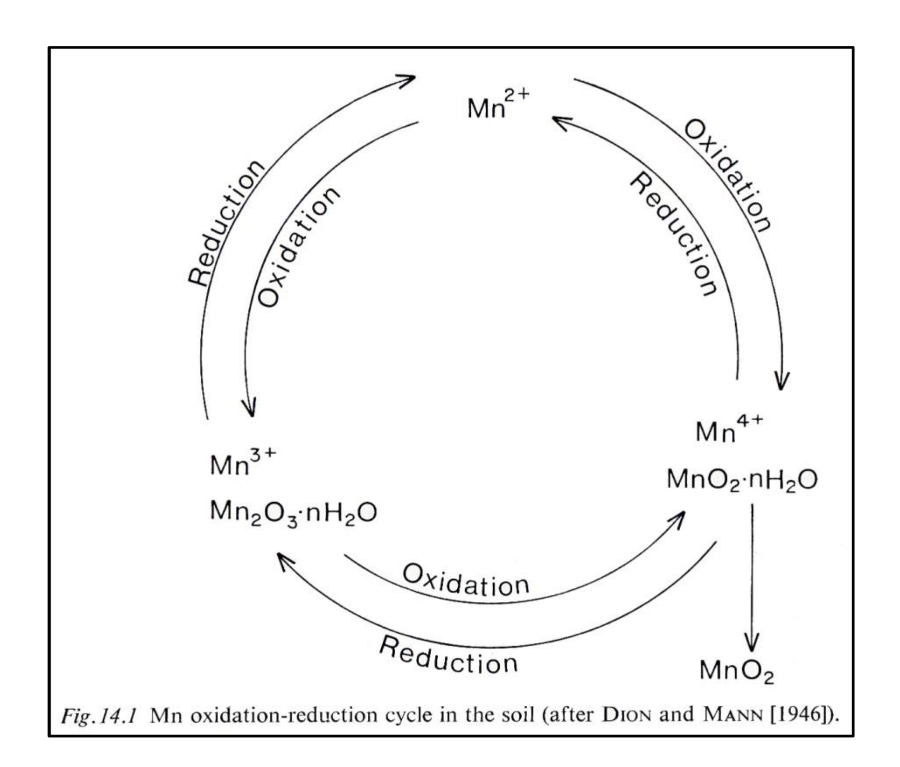


Fig. 14.1 Mn oxidation-reduction cycle in the soil (after DION and MANN [1946]).

بالإضافة إلى نشاط الكائنات الحية الدقيقة يؤثر على أكسدة المنجنيز والذي يعتمد على الرقم الهيدروجيني (الـ PH.) يساوي 7 يعتبر درجة مُثلى ((Jones (1957)). القضاء على هذه الكائنات الحية الدقيقة التي تؤكسد المنجنيز والمثال على ذلك التعقيم بالبخار ينتج عنه زيادة في تيسر المنجنيز ((Roll-Hansen (1952)). من النقاش السابق يتضح بأن الترب

المرتفعة الرقم الهيدروجيني والمحتوية على مخزون كبير من المادة العضوية تكون على الأخص عرضةً لنقص المنجنيز.

إنه من المعروف بأن الجير يخفض تيسر المنجنيز ,Cottenie and kiekens (1974) Gisiger and Hasler (1949) بينما إضافة الأسمدة ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي مثل كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ يكون لها تأثير إيجابي على امتصاص النباتات للمنجنيز ((Kuhn (1962)). المنجنيز الثنائي المذاب في محلول التربة يكون له أهمية مباشرة في تغذية النبات ويكون في توازن مع المنجنيز Mn^{+2} المدمص على معدان الطين والمادة العضوية. طبقاً لبحث Geering et al. (1969) فإن مستوى المنجنيز في محلول الترب الحامضية والمتعادلة يتراوح بين 10^{-6} – 10^{-4} مول وقد اقترحوا بأن المنجنيز في محلول الترب يوجد بكثرة كمعقد عضوي. من ناحية أخرى فقد وجد Lindsay (1974) أن انجذاب المنجنيز إلى المعقدات المخلبية المتكونة تكون منخفضة بالمقارنة مع معقد المنجنيز ويمكن أن يحل محل الزنك Zn^{+2} والكالسيوم Ca^{+2}. إن مستويات المنجنيز في محلول التربة يكون أعلى بدرجة كبيرة من النحاس والزنك. تحت الظروف الجافة جداً لا تتحلل أملاح المنجنيز مائياً وبذلك تصبح أقل تيسراً. ربما ينتج عن الجفاف انفصال لأملاح المنجنيز الثنائية وفي هذه العملية يتحرر المنجنيز. يكون أيون المنجنيز الثنائي التكافؤ سهل الحركة في التربة ويمكن أن يغسل بسهولة وهذا يحدث في الترب البدزولية Podzolic soils على الأخص.

إن تكوين أكاسيد المنجنيز في الترب ينظم مستويات الكوبلت Co في محلول التربو وبذلك يزداد تيسر الكوبلت للنباتات. حسب Mckeuzie (1975) بأن أهم صفة لخواص

كوبلت التربة يكون ارتباطه مع معادن أكسيد المنجنيز.

2.14 المنجنيز في الفسيولوجي Manganese in physiology

1.2.14 الامتصاص والانتقال Uptake and translocation

لاحظ Collander (1941) بأن معدل امتصاص المنجنيز مختلف بدرجة كبيرة فيما بين أنواع النباتات. على العموم فإن معدلات امتصاص المنجنيز تكون أقل من أنواع الكاتيونات الثنائية الأخرى مثل الكالسيوم Ca^{+2} والماغنسيوم Mg^{+2}.

هناك دليل كاف على أن امتصاص المنجنيز يتم من خلال العمليات الأيضية (Moore (1972)). يدخل المنجنيز في تنافس مع الكاتيونات بنفس طريقة أنواع الكاتيونات الثنائية الأخرى. يخفض الماغنسيوم على الأخص امتصاص المنجنيز (Maas et al. (1969), Löhnis (1960)).يقلل الجير أيضاً الامتصاص ليس فقط بتأثير مباشر من الكالسيوم في محلول التربة لكن كنتيجة لارتفاع الرقم الهيدروجيني. يبين المنجنيز في سلوكه الكيميائي خواص كاتيونات الأرض القاعدية مثل الماغنسيوم والكالسيوم وكذلك خواص المعادن الثقيلة مثل الحديد والزنك. ليس من الغرابة أن أنواع الأيونات هذه تؤثر في امتصاص ونقل المنجنيز في النبات (Hewitt (1948)). من جهة أخرى قد يخفِّض المنجنيز امتصاص الكاتيونات الأخرى والشكل 2.14 يبين ذلك حيث أن الزيادة في التزويد بالمنجنيز ينخفض محتوى الحديد في نباتات فول الصويا (Somers and Shive (1942)). عندما كان مستوى الحديد المضاف مرتفعاً (3 جزء في المليون) أصبح انخفاض المنجنيز كبيراً.

لقد وجد Sideris and Young (1949) أن النباتات المزودة بالنيتروجين في صورة

أمونيوم امتصت كميات من المنجنيز أقل من النباتات التي تم تغذيتها بالنترات NO_3 ويرجح أن هذه النتيجة تعود عموماً إلى تأثيرات مصادر النيتروجين المختلفة على توازن الكاتيونات والأنيونات خلال عملية الامتصاص (أنظر 9.1.3) وليس للتنافس النوعي بين الأمونيوم والمنجنيز على الامتصاص. طبقاً لنتائج Wittwer and Teubner (1959) فإن المنجنيز يكون غير متحرك نسبياً في النبات. لا زال من غير الواضح ما إذا كان بإمكان المنجنيز

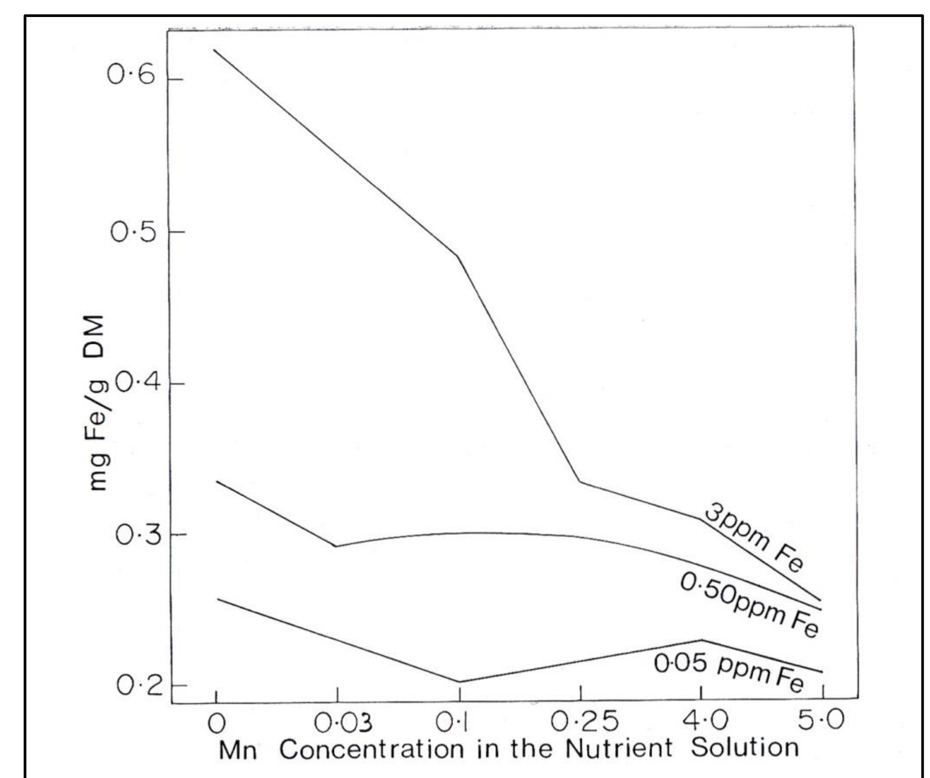


Fig. 14.2 Effect of increasing Mn concentration in the nutrient solution on the Fe content in soya bean plants supplied with three different Fe-levels (after SOMERS and SHIVE [1942]).

الانتقال في اللحاء وإلى أي حد. لقد درس Tiffin (1972) انتقال عدة معادن ثقيلة في الطماطم وفي اختبارات الإفرازات بالهجرة الكهربائية Electrophoretic فقد وجد أن المنجنيز يهاجر أو ينتقل إلى القطب السالب ومن هذا يتبين أن المنجنيز ينتقل بصورة رئيسة كأيون Mn^{+2} وليس كمعقد عضوي. لقد وجدت ملاحظات مشابهة لحد ما في مستخلصات نبات الزوان Ryegrass ((Bremner and Kinght (1970)) إن المنجنيز يكون انتقاله اختيارياً إلى الأنسجة الانشائية (المرسيمية) لذلك فأجزاء النبات الحديثة التكوين تكون غنية بالمنجنيز ((Amberger (1973)). لقد وجد في تجارب المحلول الغذائي أن إضافة السيليكون حسَّن توزيع المنجنيز في نباتات الشعير ((Williams and Vlamis (1957)).

2.2.14 الوظائف الكيموحيوية Biochemical Functions

المنجنيز يشبه الماغنسيوم في الوظائف الكيموحيوية وكلاهما من الأيونات يربط بين مركب الطاقة ATP بمعقد الأنزيم (الفوسفوركينيز Phosphokinases والفوسفورترنسفيريز Phosphotransferases). إن الرابط المتكون بوساطة المنجنيز يختلف قليلاً عن ذلك المتكون بالماغنسيوم ((Lehninger (1975)). إن إنزيمات الديكربوكسيليزات Decarboxylases والديهيدروجينيزات Dehydrogenases لدورة TCA تنشط أيضاً بالمنجنيز رغم أنه يظهر في معظم الحالات بأن المنجنيز ليس متخصصاً بتنشيط هذه الأنزيمات ويمكن أن يحل محل الماغنسيوم.

لكن هناك حاجة خاصة للمنجنيز في تفاعلات أخرى فهو يؤكسد حامض اندول الخليط IAA بواسطة تحفيز وتنشيط أنزيم الأكسيديز لحامض IAA (.Mumford et al

(1962)). هذه النتائج تطابق ما وجده Taylor et al. (1968) بأن زيادة غير عادية في نشاط حامض IAA في أوراق نباتات القطن التي تعاني من نقص المنجنيز. الآلية الدقيقة التي عن طريقها يقوم المنجنيز بتنشيط أنزيمات الأكسيديزات Oxidases ليست واضحة حتى الآن رغم احتمال أن تغير التكافؤ من الثلاثي Mn^{+3} إلى الثنائي Mn^{+2} يساهم في عمليات الأكسدة هذه.

يشارك المنجنيز بطريقة ما في عمليات الأكسدة والاختزال في نظام انتقال الإلكترون في عملية التمثيل الضوئي. حسب Bishop (1971) فإن المنجنيز يكون ضرورياً في الضوئي الثاني Photosystem – II (أنظر 2.2.3) حيث يساهم في التحلل الضوئي Photolysis ((Anderson and Pyliotis (1969)). لقد تم عزل جزأين منفصلين من المنجنيز من لكلوربلاستات ((Cheniae and Martin (1970)) أحدهما غير مرتبط بإحكام الآخر مرتبط بإحكام إلى الغشاء.

يظهر أن الجزء غير المرتبط بإحكام كان مشتركاً مع نشوء الأكسجين بينما جزء المنجنيز المرتبط بإحكام ضروري في إعطاء الالكترونات في عملية النظام الضوئي الثاني غير المعروفة حتى الآن. هناك علاقة غير مباشرة بين تأثير المنجنيز على عملية التمثيل الضوئي وعلى اختزال النتريت NO^-_2 ((Hewitt (1970)). إن عملية تثبيط اختزال النتريت ربما هي التي تتحكم في التغذية الاسترجاعية Feedback control لنشاط أنزيم اختزال النترات NO^-_3 reductase. تحت الظروف التي يكون فيها معدل اختزال النتريت منخفضاً فمن المتوقع أن يهبط نشاط أنزيم اختزال النترات وبذا يتراكم النترات وهذه النتيجة تحدث أحياناً في النباتات

التي تعاني من نقص المنجنيز.

3.2.14 النقص والسمية Deficiency and Toxicity

إن الكلوروبلاستات هي الأكثر حساسية من كل أجزاء الخلية لنقص المنجنيز (Homann (1967)). لقد بين Bussler (1958) أن الأنسجة التي تعاني من نقص المنجنيز تكون ذات خلايا صغيرة الحجم في النبات كل، وجدران الخلايا وأنسجة البشرة الوسطى تكون منكمشة. نقص المنجنيز يشبه نقص الماغنسيوم، ففي الحالتين يحدث اصفرار فيما بين التعرق في الأوراق وبالمقارنة مع نقص الماغنسيوم فإن أعراض نقص المنجنيز تكون مرئية أولاً في الأوراق الحديثة في حين أنها تظهر على الأوراق القديمة في حالة نقص الماغنسيوم. إن أعراض نقص المنجنيز في نباتات ذوات الفلقتين تكون غالباً مميزة ببقع صغيرة صفراء على الأوراق. في هذه الناحية تختلف مجموعة الأعراض عن تلك التي تظهر بسبب نقص الحديد حيث أن الورقة الحديثة تصبح صفراء بكاملها والمثال النموذجي لنقص المنجنيز في بنجر السكر موضح في الجزء الأسفل في (اللوحة 1.14). وهذه مرحلة متقدمة ومساحات التعرق التي مازالت خضراء فقط. في نباتات ذات الفلقة وخاصةً في الشوفان تظهر أعراض نقص المنجنيز عند قاعدة الأوراق (Finck (1956)) حيث توجد بقع وخطوط خضراء شاحبة. الشوفان على الأخص عرضة لنقص المنجنيز خلال طور تكوين الخلف Tillering stage وهذا المرض يسمى بالبقع الشهباء Grey speck. عند المرحلة المتقدمة من المرض يقل الانتفاخ Turgor للنباتات المتأثرة وينكسر الجزء العلوي من الورقة قرب وسطها (اللوحة 1.14).

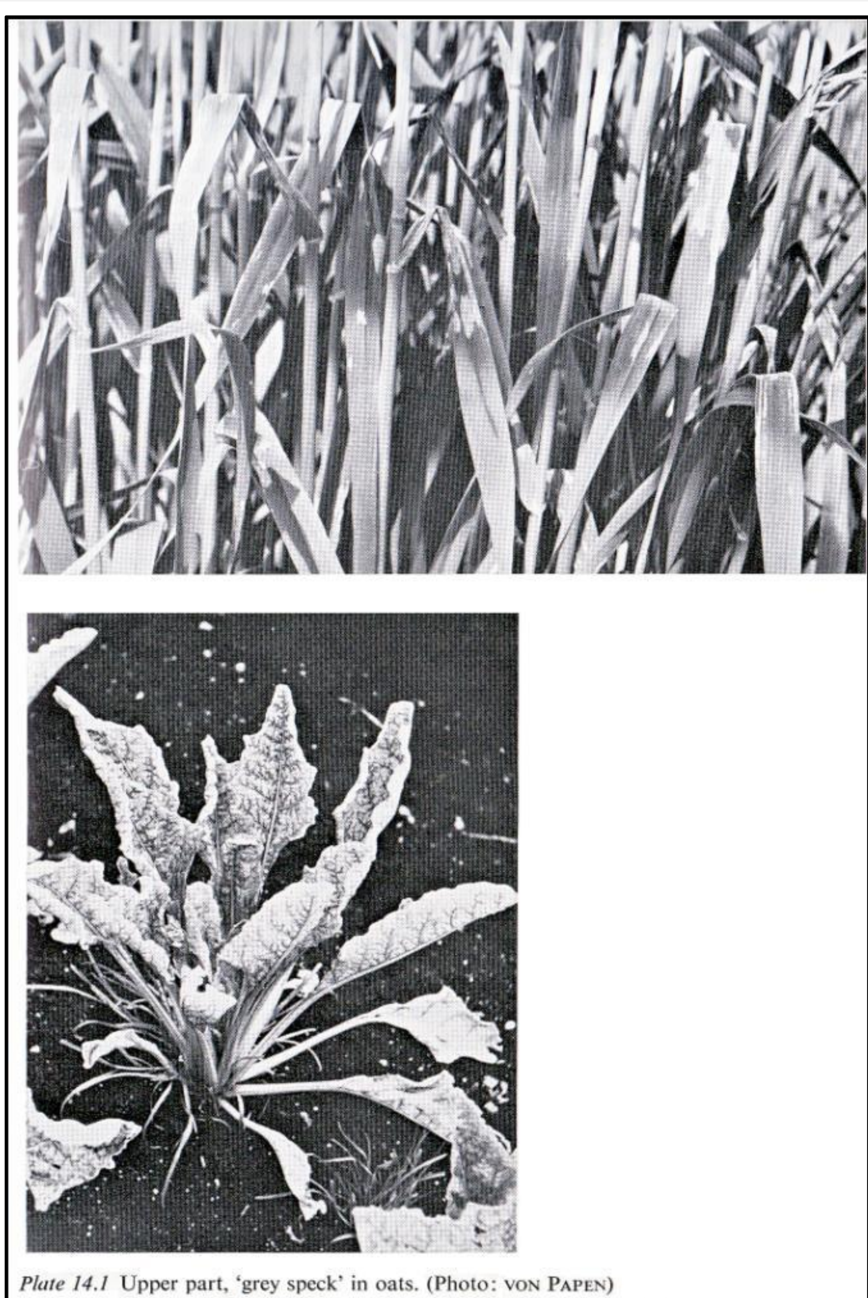


Plate 14.1 Upper part, 'grey speck' in oats. (Photo: VON PAPEN)
Lower part, Mn deficiency in sugar beet. (Photo: DRAYCOTT)

إن حالة المنجنيز في النبات تعكس احتواءه على المنجنيز فالمستوى الحرج للنقص لمعظم أنواع النباتات يكون في مدى 15–25 جزءاً في المليون في المادة الجافة للأجزاء العليا من النبات. يبين الشكل (3.14) علاقة واضحة بين شدة نقص المنجنيز ومحتواه في الأوراق الخضراء لبنجر السكر ((Farley and Draycott (1973)).

إن المستويات المرتفعة من المنجنيز يمكن أن تكون سامة للنباتات، وهذه الحالة تحدث مع فول الصويا عند زيادة تركيز المنجنيز (حوالي 160 جزءاً في المليون) في الأوراق المكتملة النمو ((Ohki (1977)). عموماً تكون أعراض السمية متميزة ببقع بنية خاصة على الأوراق القديمة وتوزيع غير متساوي للكلورفيل ((Bussler (1958)) لقد وجد أن البقع البنية تتكون من ترسبات أكاسيد المنجنيز. لقد اعتبر Morgan et al. (1966) أن سمية المنجنيز هي تعبير عن نقص الأوكسين Auxin الذي سببه ارتفاع نشاط الانزيم المؤكسد لإندول حامض الخليك (IAA oxidase) هذا انخفاض نشاط الاوكسين يعيق نشاط مضخة تدفق البروتون المحفز لإندول حامض الخليك. وبهذه الوسيلة فإن تمدد جدار الخلية وتكوين مواقع جديدة ذات شحنات سالبة يتم تثبيطها وبين الباحثون أيضاً أن سعة التبادلية الكاتيونية للأنسجة ذات سمية المنجنيز كانت أقل من الأنسجة الطبيعية وأن حركة الكالسيوم إلى النقاط النامية كانت محدودة تحت ظروف سمية المنجنيز (أنظر 1.2.11).

إن سمية المنجنيز يمكن معادلتها بالسيليكون ((Vlamis and Willwams (1967)). ويظهر أن التأثير هو نتيجة انخفاض امتصاص المنجنيز في نباتات الأرز ((Vorm and Van Diest (1979)). يحفز السيليكون توزيع المنجنيز في الفاصوليا بانتظام

أكثر داخل الورقة ((Horst and Marschner (1978 b). كذلك فإن زيادة المنجنيز يمكن أن تحفز نقص الحديد ((Foy et al. (1978).

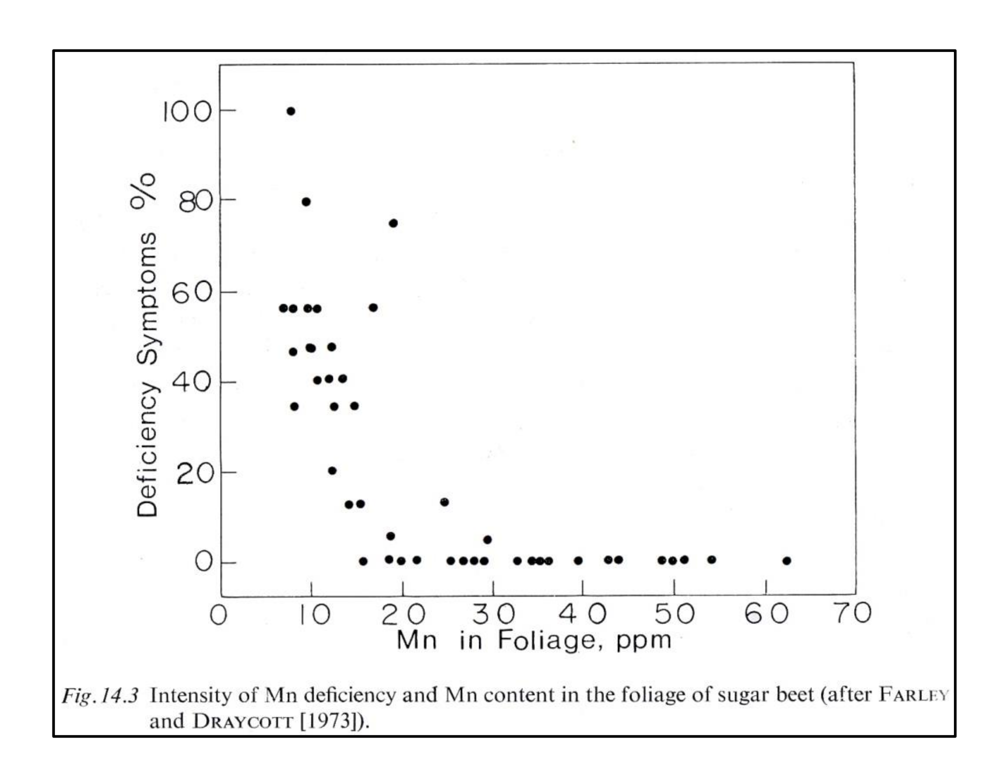


Fig. 14.3 Intensity of Mn deficiency and Mn content in the foliage of sugar beet (after FARLEY and DRAYCOTT [1973]).

3.14 المنجنيز في تغذية النبات Manganese in Crop Nutrition

تحتوي معظم الترب على مستويات كافية من المنجنيز المتيسر وبذلك ليس من الضروري إضافة المنجنيز. الكمية الكلية للمنجنيز الممتص بواسطة المحاصيل الزراعية تكون منخفضة ومداها من 500 إلى 1000 جرام منجنيز/هكتار ((Schachtschabel (1955) ترب الخث الكلسية (الترب العضوية المرتفعة الرقم الهيدروجيني) تكون على الأخص منخفضة

في المنجنيز الميسر وبذا تظهر فيها أعراض نقص المنجنيز على النباتات. إضافة أملاح المنجنيز مثل كبريتات المنجنيز إلى التربة يكون غالباً غير مجدي لتخفيف النقص لأن المنجنيز المضاف يتأكسد بسرعة. عند معاملة مثل هذه الترب بأسمدة المنجنيز يجب وضعها في خطوط Banded بدلاً من الإضافة بالنثر Broadcast على التربة. لقد وجد Randall and Schulte (1971) أن 5.6 كيلوجرام/هكتار من المنجنيز على شكل صورة كبريتات توضع في خطوط قرب النبات كانت مكافئة لحوالي 67.2كيلوجرام/هكتار من المنجنيز مضاف بالنثر. عموماً إضافة كبريتات المنجنيز $MnSO_4$ بالتربة يكون أفضل من معقدات المنجنيز المخلبية رغم أن في كثير من الأحيان يوصى بإضافة المنجنيز عن طريق رش أوراق النباتات النامية في الترب العضوية الكلسية. في مقارنة إضافة سيليكا وأكاسيد المنجنيز على تربة مع رش المنجنيز على الأوراق، فقد وجد أن الإضافة للتربة لم تمنع نقص المنجنيز في بنجر السكر في حين الإضافة بالرش صححت النقص وزادت الإنتاج (Draycott and Farley (1973)). إن رش 1–5 كيلوجرام منجنيز/هكتار يكون كافياً لتعويض النقص في معظم المحاصيل. حسب Ozaki (1955) أن كبريتات المنجنيز تعتبر أهم حامل Carrier غير عضوي فعال من المنجنيز في محلول رش الأوراق. يتضح أن Mn-EDTA مركب مخلبي من حوامل المنجنيز العضوي يعطي أفضل استجابة.

إن بعض الترب البدزولية Podzolic خاصةً تكون مصنفة بأنها منخفضة في المنجنيز الميسر، هذه المجموعة من الترب تختلف عن الترب العضوية التي نوقشت سابقاً وفي هذه الترب البدزولية يكون انخفاض المنجنيز متأصلاً فيها وهذه الحالة تنتج أساساً من ارتفاع

عملية الغسل. إن نقص المنجنيز في هذه المواقع يتفاقم أكثر الأحيان بإضافة الجير ((Zhiznevskaya (1958) كنتيجة لارتفاع الرقم الهيدروجيني. إذا أضيف المنجنيز لهذه الترب فإنه لا يتأكسد بسرعة كما يحدث في الترب الكلسية العضوية ويكون قادراً لتصحيح النقص. تكون إضافات المنجنيز عموماً بمعدل حوالي 30 كيلوجرام منجنيز للهكتار ككبريتات المنجنيز $MnSO_4$. يتضح بإضافة كميات كبيرة حوالي 100– 200 كيلوجرام منجنيز للهكتار في الحالات الصعبة ((Henkens (1965). بالإضافة إلى أنواع الترب التي ذكرت أعلاه فالترب الطميية الرسوبية Alluvial وترب المستنقعات المشتقة من المعادن الكلسية تكون أيضاً عرضة لنقص المنجنيز. ينخفض امتصاص النباتات للمنجنيز بوجود مستويات عالية ميسرة من الحديد أو النحاس أو الزنك.

يعتمد حدوث نقص المنجنيز وشدة ظهوره على الظروف الفصلية حيث تكون أكثر الأحيان أسوأ في الفصول الباردة الرطبة وهذا يمكن أن يكون نتيجة انخفاض أيض الجذور الذي يؤثر في امتصاص المنجنيز. مثل هذه التأثيرات قد تحسب لزيادة انتشار نقص المنجنيز الملاحظ كثيراً عندما تكون ظروف النمو جيدة وتتبع بفترة باردة أو جافة ((Batey (1971).

لا يعول على تحليل التربة في تشخيص حالة تيسر المنجنيز في التربة بالعلاقة مع استجابة النبات. حسب Browman et al. (1969) بمقارنة عدد من الطرق القياسية. فقد وجدوا أن مستخلص خلات الأمونيوم مع تعديل الرقم الهيدروجيني للتربة أعطى أفضل نتائج مُرضية. لقد وجد Faley and Draycott (1976) ملاحظات مشابهة. إن المنجنيز القابل

للاستخلاص بخلات الأمونيوم يعطي أفضل ارتباط بنقص المنجنيز ومنجنيز النبات والاستجابة للمعاملة. إن أكثر النتائج أهمية لهذه الدراسة مبين في الجدول (2.14). إن محتوى المنجنيز يختلف وضعه في كثير من النباتات وهو موضح في نتائج Labanauskas (1966).

Table 14.2 Sugar beet response to Mn in relation to NH_4-acetate extractable soil Mn, and Mn in the dried foliage (Farley and Draycott [1976])

Ammonium acetate extractable soil Mn ppm	Plants with symptoms %	Mn in dried foliage ppm	Response
<1.2	100–50	<20	large
1.2–1.8	49–25	20–30	small
>1.8	<25	>30	none

تختلف المحاصيل في حساسيتها لنقص المنجنيز. لأن نقص المنجنيز في المحاصيل الزراعية يؤدي إلى مرضين شائعين وهما: البقع الشاحبة في الشوفان (Avena Sativa) وبقع السبخ في البازلاء (Pisum sativum). المحاصيل الحساسة الأخرى هي التفاح والكرز والحمضيات وتوت العليق Respberry وبنجر السكر.

يمكن أن تمتص النباتات كميات كبيرة من المنجنيز في الترب الحامضية العالية في تيسر المنجنيز وأن المتسويات التي تصل إلى 1000 جزء في المليون منجنيز في المادة الجافة هو أمر شائع. لقد وجد Löhnis (1960) أن محتوى المنجنيز في نباتات عنب الدب Vaccinium myrtillus أعلى من 2000 جزء في المليون في المادة الجافة. تلاحظ كثيراً سمية المنجنيز على المحاصيل وتتفاقم بوجود ظروف الاختزال في مثل هذه الترب. هناك اهتمام كبير

بعملية فصل محاصيل مقاومة وراثياً لسمية المنجنيز وهذا صحيح على الأخص لبعض المحاصيل الاستوائية عندما تكون الظروف حامضية عموماً ومستويات تيسر المنجنيز عالية. لقد أوصى Foy (1976) بأن هذه العملية يجب أن تكون في ترب بها منجنيز مرتفع عند مدى الرقم الهيدروجيني 5.0 – 5.5 سيكون المنجنيز هنا مذاب عند تركيز سام لكن سمية الألمنيوم ستكون أقل ما يمكن أو غير موجودة. تمتص أنواع النباتات المقاومة للمنجنيز والأصناف المعروفة المنجنيز عند معدلات منخفضة ((Brown et al. (1972).

الفصل الخامس عشر

الزنك

1.15 زنك التربة: Soil zinc

إن متوسط محتوى الأرض (الغلاف الصخري Lithosphere) من الزنك حوالي 80 جزء في المليون ((Goldsehmidt (1954)). يوجد الزنك عادةً في الترب عند مدى 10–300 جزء في المليون في عدد من المعادن المختلفة. إن نصف قطر أيون الزنك يكون مماثلاً لدرجة كبيرة لنصف قطر الحديد والماغنسيوم ولحدٍ معين فإن الزنك قد يحل محل هذه الأيونات بواسطة الإحلال المتماثل Isomorphous replacement في تراكيب المعدن وخاصةً في معادن الماغنسيوم الحديدي Ferromagnesian مثلما في Biotite, Hornblende, Augite. إن وجود الزنك في هذه المعادن هو ليكون لمعظم الزنك في كثير من الترب بالإضافة إلى تكوين عدد من الأملاح تضم كبريتيد الزنك ZnS والسفليريت (ZnFe)S Sphalertite وأكسيد الزنك الأحمر ZnO (Zincite) وكربونات الزنك $ZnCO_3$ (Smithsonite). عدا جزء كبريتيد الزنك ZnS الذي يمكن أن يوجد تحت ظروف الاختزال فإن معظم هذه الأملاح تكون ذائبة وتبقى في التربة أطول فترة زمنية ((Lindsay (1972)). إن سيليكات الزنك $ZnSiO_3$ والوميت Zn_2Sio_4 (Willemite) توجد أيضاً في بعض الترب.

بالإضافة إلى وجود المعادن فقد يوجد الزنك على مواقع التبادل لمعادن الطين والمادة العضوية أو يكون مدمصاً على الأسطح الصلبة في التربة. هذا العنصر قد يُدمص كزنك ثنائي التكافؤ Zn^{+2} أو هيدروكسيد $ZnOH^+$ أو كلوريد $ZnCL^+$ أو قد يصبح غير قابل للاستخلاص ربما نتيجة دخوله الفتحات المشغولة طبيعياً بالألمنيوم Al^{+3} في طبقة الطين الثمانية Octahedral. حسب (1968) Grimme بأن شدة إدمصاص الجوثيت Goethite

للزنك تزداد بارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة ولهذا السبب فإن حركة الزنك ستكون محدودة في الترب المتعادلة والقاعدية وأن مستوى الزنك في محلول التربة منخفض جداً. وحسب ما قرره Hodgson et al. (1966) فإن قيمته تكون حوالي 3×10^{-8} – 3×10^{-6} مول من الزنك.

وذوبانية الزنك تكون منخفضة خاصة في الترب المرتفعة الرقم الهيدروجيني وبالتحديد في وجود كربونات الكالسيوم. يتفاعل الزنك مع المادة العضوية للتربة ويتكون معقدات الزنك العضوية الذائبة وغير الذائبة. حسب Hodgson et al. (1966) فإن المتوسط لإذابة الزنك حوالي 60 % في التربة، يوجد في المعقدات للزنك العضوية المذابة. في مراجعة تفاعلات المغذيات الصغرى للمادة العضوية فقد استنتج Stevenson and Ardakani (1972) بأن معقدات الزنك العضوية الذائبة تكون أساساً مشتركة مع الأحماض الأمينية والأحماض العضوية وحمض فلفك Fluvic بينما معقدات الزنك العضوية غير الذائبة فهي تشتق من أحماض الهيومك العضوية Humic acids.

لمستوى الزنك في التربة علاقة كبيرة جداً بمادة الأصل Parent material. فالترب الناشئة من الصخور النارية القاعدية بها زنك مرتفع وهذا على عكس الترب الناشئة من السيليكون كمادة أصل والتي يكون الزنك فيها منخفضاً. قد يوجد مستويات عالية من الزنك بين الفينة والأخرى في الترب التي تأثرت بفضلات المعادن.

2.15 الزنك في الفسيولوجي Zinc in physiology

1.2.15 الامتصاص والانتقال Uptake and translocation

إن مستويات الزنك في مادة النبات تكون منخفضة كما هو مبين في الجدول (1.15) وعموماً فإن مستواه قد يكون أعلى من 100 جزء في المليون في المادة الجافة. إن

احتياجات النباتات من الزنك تكون قليلة. تحصل الباحثان Carrol and Loneragan (1969) على أقصى إنتاج أو أقل قليلاً لثمانية أنواع مختلفة من النباتات في تجارب محلول ماء مغذي ساري الجريان بتراكيز زنك تتراوح بين 10^{-8} – 2.5×10^{-6} مول حيث تحصل على أقصى إنتاج عندما كان امتصاص النبات 10–30 نانوجرام (ng) زنك لكل جرام مادة رطبة من الجذور في اليوم. هذه النتائج تعتبر منخفضة عن تلك التي وجدت في البحوث المبكرة والتي استخدم فيها محلول مائي مغذي غير متدفق ((Schmid et al. (1965). لقد نتجت القيم العالية من الدراسة الأخيرة بسبب تجنب تأثيرات استنـزاف الجذور. إن تيسر وامتصاص الزنك والمغذيات الصغرى الأخرى. تم مراجعة ذلك في ورقة علمية ذات قيمة جيدة قدمها (1975) Loneragan

هناك تضارب كبير في المراجع فيما إذا كان امتصاص الزنك نشط Active أو سلبي (غير نشط Passive).لقد شرح هذا الباحث (1972) Moore بعض التفصيل. فهو يُرجح أن باقتراح توازن الامتصاص للزنك يتم التحكم فيه أيضياً Metabolucally controlled. لقد وضح (1972) Lindsay أن أكثر الاختلافات الظاهرة كان سببها عدم استطاعة الباحثين الأوائل التمييز بين الإدمصاص التبادلي السلبي والتراكم الحيوي النشط في الخلايا. قد توجد في جذور النبات 90 % من الزنك الكلي على مواقع التبادل أو مدمص على أسطح الجذور الخلوية في اللحاء. لذا فإن استنتاجات امتصاص الزنك غير النشط من تجارب قصيرة المدى يجب أخذه في الاعتبار مع الشك.

لقد لاحظ (1965) .Schmid et al أن جذور الشعير كان امتصاصها للزنك بمعدل مستمر كامتصاص أيضي نموذجي. لقد انخفض الزنك بدرجة كبيرة بانخفاض الحرارة ومثبطات الأيض؛ نفس الملاحظات كانت في أوراق قصب السكر ((1965) Bowen). بالإضافة إلى أن التجربتين بينتا أن وجود النحاس يثبط امتصاص الزنك. يبدو بالإمكان أن هذه الأيونات للنحاس والزنك تتنافس على نفس مواقع الحامل. تأثيرات تنافس مماثلة للحديد والمنجنيز على امتصاص الزنك قد وجدت في بادرات الأرز (.Giordano et al (1974)). الإضافة إلى إعاقة امتصاص الزنك الحادة تكون بفعل مثبطات الأيض المختلفة. باستخدام تراكيز واسعة المدى على نباتات القمح نتج عنه تأثيرات سلبية على امتصاص الزنك بواسطة الترب القاعدية حسب هذا الترتيب ($Mg^{+2} < Ca^{+2} = Sr^{+2} = Ba^{+2}$) وفي الشق القاعدي ((1972) Chaudhry and Loneragan).

Table 15.1 Zinc content of various crops ppm DM (Boehle and Lindsay [1969])

	Deficient	Low	Sufficient	High
Apple Leaves	0–15	16–20	21– 50	>51
Citrus Leaves	0–15	16–25	26– 80	81–200
Lucerne Tops	0–15	16–20	21– 70	>71
Maize Leaves	0–10	11–20	21– 70	71–150
Soya Bean Tops	0–10	11–20	21– 70	71–150
Tomato Leaves	0–10	11–20	21–120	>120

إن صورة الزنك التي تنتقل من الجذور إلى أجزاء النبات العليا غير معروفة. لقد أُستدل على الزنك في إفرازات الخشب بعد قطع الجزء العلوي في نباتات الطماطم وفول

الصويا بتراكيز أعلى بدرجة كبيرة مما في المحلول للجذور ((Tiffin (1967) و(Ambler et al. (1970). أدلة الهجرة الكهربائية Electrophoretic بينت أن الزنك لا يكون مرتبطاً بروابط ثابتة كما هو الحال مع النحاس والنيكل والحديد. لقد لاحظ (Tiffin (1967 أن الزنك في إفرازات الطماطم يُحدث قطباً سالباً قليلاً واستنتج أنه لا ينتقل كسترات Citrate حيث أن معقدات سترات الزنك تكوّن قطباً سالباً موجباً. إن حركة الزنك في النباتات ليست كبيرة حيث يتراكم الزنك في أنسجة الجذور خاصةً عندما يضاف بكميات كبيرة. في الأوراق القديمة يصبح الزنك عديم الحركة ((Rinne and Langston (1960). ينخفض معدل حركة الزنك إلى الأنسجة الحديثة التكوين خاصةً في النباتات التي تعاني من نقص الزنك ((Lonergan (1975).

لقد درس كثير من الباحثين التفاعل بين الزنك والفوسفور فعُرف جيداً بأن التزويد بمستويات مرتفعة من الفوسفور يحفز الزنك بترك علاقة التربة بالنبات جانباً والتي ستناقش لاحقاً فلقد تم توضيح أن الفوسفات ينتج عنها خلل في الأيض وقد يؤدي إلى أعراض نقص الزنك. لقد وجد (Marschner and Schropp (1977 أن معدلات الفوسفات العالية المضافة للعنب المزروع في تجارب أصص بها تربة كلسية قد حفز أعراض نقص الزنك على الأوراق بالإضافة إلى قلة النمو وانخفاض تراكيز الزنك في الأوراق الحديثة. في تجارب محاليل مغذية موازية للتجربة الأولى لم يتمكن الباحثون من تحفيز نقص الزنك رغم أن تراكيزه في أوراق نباتات العنب كانت منخفضة عن التراكيز التي وجدت في الأوراق ذات أعراض نقص الزنك. لقد أُقترح أن الفوسفات قد يؤثر على تيسر الزنك فسيولوجيا في أنسجة النبات. إن

الفكرة القديمة بأن الزنك يصبح غير فعال في الأيض بسبب ترسبه كفوسفات $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$ يمكن لحدٍ كبير إهمالها. إن ارتفاع درجة ذوبان المركب تسبب نقص الزنك ما لم تُفصل فيزيائياً من عصارة النبات Sap. البحوث عن علاقات الزنك والفوسفور في النباتات قد راجعها (1972) Olsen.

لاحظ (1970) Warnock تداخلاً بين الزنك والحديد حيث وجد أن الحديد يتراكم بمستويات عالية والمنجنيز بمستويات أقل في نباتات الذرة فيها نقص الزنك بالفوسفور. إن تداخل زيادة الحديد أقترح كعامل دخيل في سوء التغذية الفسيولوجية في النباتات التي تعاني من نقص الزنك.

2.2.15 الوظائف الكيموحيوية Biochemical functions

إن الزنك يشبه المنجنيز والماغنسيوم في وظائفه في بعض الأنظمة الأنزيمية حيث يقوم بربط وتعديل ما بين الإنزيم ومادة التفاعل Substrate. هناك عدد من الإنزيمات تتضمن الانوليز Enolase تحفز بنفس الطريقة بوساطة المنجنيز والماغنسيوم أو الزنك. إلى وقت بعيد نسبياً وُجد أن الانزيم المؤكد تنشيطه بالزنك خاصةً هو انزيم تميئ الكربونيك Carbonic anhydrase وهو يساعد في التفاعل:

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$

لقد تبين وجود هذا الإنزيم في الكلوروبلاستات ((1975) .Jacobson et al).
حيث افترض أن تعمل لوسيط منظم Buffer للرقم الهيدروجيني المتغير لفترة قصيرة في الوسط؛ لقد اقترح أنه بسبب التركيز العالي الطبيعي للأنزيم في الاستروما Stroma

(النسيج الضام في الخلية) فقد اقترح أن هذا يُمكنه من حماية البروتينات من عملية تغيير طبيعتها نتيجة للتغيرات الوضعية في الرقم الهيدروجيني والمرتبط بضخ أيون الهيدروجين واندماج ثاني أكسيد الكربون في الريبولوز 5.1 ثنائي الفوسفات Ribulose 1.5 biphosphate (أنظر 4.2.3). في السنوات القليلة الأخيرة تم التعرف على أنزيمتن معدنية يدخل فيها الزنك Zn metallo-enzymes تضم انزيمات الديهيدروجينيز Dehydrogenase وعلى الأخص في حامض جلوتمك ديهيدروجينيز Glutamic acid dehydrognase وحامض اللكتك ديهيدوجينيز Lactic acid dehydrognase والمحول ديهيدوجينيز Alcohol dehydrognase بالإضافة إلى أنزيمات البروتينات Proteinases وأنزيمات الببتيد Peptidases ((Vallee and Wacker (1970)).

يشترك الزنك عن كثب في عمليات أيض النيتروجين للنبات. لقد بين Price et al. (1972) أن عدداً من المراجع توضح أن الحادث العرضي المبكر الممكن لنقص الزنك كنقص حاد في مستويات حامض الريبوز النووي RNA ومحتوى الخلية من الريبوزم Ribosome؛ هذا الانخفاض في بناء Synthesis الحامض النووي RNA يؤدي إلى إيقاف تكوين البروتينات بينما يزداد نسبياً كل من الجلوكوز والنيتروجين غير البروتيني والحامض النووي DNA ((Price (1962)). لقد لاحظ الباحثان Praske and Plocke (1971) في اليوجلينا جراسيلس Euglena gracilis أن ريبوزمات السيتوبلازم Cytoplasmic ribosomes التي تحتوي عادةً على كمية كبيرة من الزنك يصبح غير مستقر بدرجة حادة مع نقص الزنك. هذه النتيجة قد يكون لها علاقة مع تناقص تمثيل الحامض النووي RNA. إن

عملية بناء أو تمثيل الحامض الاميني تربتوفان Tryptophan تحتاج إلى الزنك ((Tsui (1948). بما أن التربتوفان هو المادة التي تُبنى منها حامض اندول الخليك IAA فتكون هذه المادة يكون تأثيرها بالزنك غير مباشر.

$-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ (N-H)

Tryptophan

$-CH_2-COOH$ (N-H)

Indole acetic acid

لقد لاحظ (1948) Tsui أن نقص الزنك في الطماطم واكبه انخفاض معدلات استطالة الساق وانخفاض نشاط الأوكسين وقلة محتوى التربتوفان. لقد أكد Salami and Kenefick (1970) هذه النتيجة بزراعة ذرة في محلول مغذي ووجد أنه يمكن إزالة أعراض نقص الزنك أما بإضافة الزنك أو التربتوفان إلى الوسط المغذي وبهذا يقدم دليلاً غير مباشر عن ضرورة الزنك في تكوين مستويات مثلى من التربتوفان. في نتائج مغايرة تماماً وجد Takaki and Kushizaki (1970) أن مستويات عالية من التربتوفان في نباتات الذرة التي ينقصها الزنك واستنتجوا بأن تمثيل حامض اندول الخليك من التربتوفان يحتاج إلى الزنك. كما أشار (1970) Price بأن العلاقة المسببة بين الزنك والتربتوفان وحامض اندول الخليك IAA لم تعرف بعد.

حسب Jyung et al. (1975) فإن الزنك له دور في أيض النبات حيث يشترك في تكوين النشا وقد تم مقارنة سلوك صنفين من الفاصوليا الداكنة Navy bean (Phaseolus Vulgaris) زرعت تحت ظروف نقص الزنك فكان أحد الصنفين حساساً للنقص والآخر غير حساس وقد وجد أن محتوى النشا ونشاط إنزيم تمثيل النشا Starch synthetase وعدد حبيبات النشا كلها تناقصت في الصنف الحساس. هذه الدراسة برهنت على علاقة عكسية وثيقة بين درجة نقص الزنك وتكوين النشا. تأثير ناتج تكوين النشا قد يكون أساساً من نقص الزنك فهذا موضوع قيد البحث.

لقد وجد أن الزنك والنحاس من مكونات أنزيم سوبراكسيدميوتيز Superoxide dismutase الذي يحلل الأكسجين التفرّع (الرادكل أو الألي) O^-_2 radical الذي يمكن أن ينتج من الأكسجين الجزئي بذا يحفظ الكائنات الهوائية من الهجوم بوساطة الأكسيجين التفرّع O^-_2 (أنظر 2.2.16).

3.2.15 نقص الزنك Zinc deficiency

يظهر في معظم الأحيان اصفرار في المساحات فيما بين العروق للورقة على النباتات التي تعاني من نقص الزنك، وهذه المساحات خضراء شاحبة وصفراء أو حتى بيضاء. في النباتات ذات الفلقة وخاصةً الذرة تظهر خطوط صفراء على أي من جانب العرق الوسطى للورقة. يتأثر تطور الورقة في أشجار الفاكهة بشكل عكسي حيث تتكون مجموعات أو شكل وردي لأوراق صغيرة صلبة غير منتظمة التوزيع تكون عند نهايات الأغصان الحديثة التكوين، وفي أكثر الأحيان تموت هذه الأغصان وتتساقط الأوراق قبل اكتمال نموها. ففي

أشجار التفاح يظهر المرض في بداية السنة ويعرف بالشكل الوردي أو الورقة الصغيرة Little-leaf. هذا النقص مبين في اللوحة (1.15).

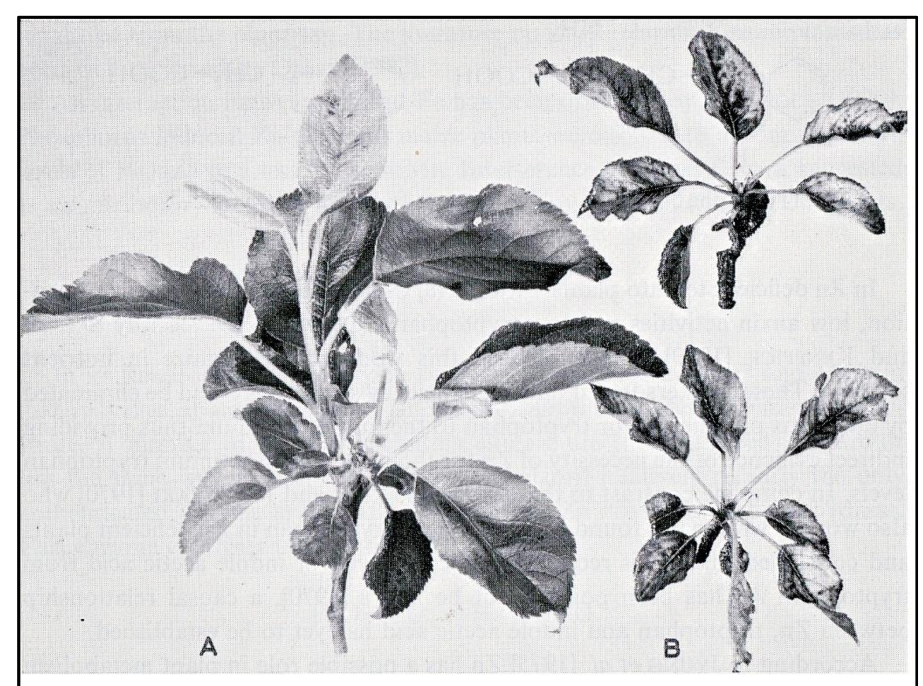


Plate 15.1 Zn deficiency of apple trees (little leaf):
A: Normal shoot
B: Zn deficient shoots. Note rosetting, upward curling and waviness of leaf margins, and interveinal chlorosis. (Photo: BOULD)

ونقص الزنك لا يحد عملية تطور الورقة فقط لكن تتكون براعم قليلة وكثير منها لا يتفتح مع انخفاض حاد في الإنتاج. يتأثر لحاء الأشجار التي تعاني من نقص الزنك حيث يكون خشناً وسريع الكسر ((Bould et al. (1949). إن أعراض نقص الزنك في محاصيل الخضر أكثر ارتباطاً بنوع المحصول مما هو في أعراض نقص مغذيات النبات الأخرى. في

معظم الحالات يتميز نقص الزنك بقصر المسافة بين العقل أو عقد الساق واصفرار مساحات في الأوراق القديمة. أحياناً يظهر اصفرار في الأوراق الحديثة (Maynard (1979)). لنقص الزنك علاقة وثيقة بمثبطات بناء الحامض النووي RNA. النقص يمنع التطور الطبيعي لجرانا الكلوروبلاست Chloroplast grana وتتطور الفجوات الخلوية فيها ((Jyung et al. (1975), Thomson and Weier (1962)). فإن مستوى الزنك ينخفض في النباتات التي تعاني من نقص الزنك كما هو مبين في الجدول (1.15) وعادةً سكون في مدى حوالي 0 – 15 جزء في المليون في المادة الجافة ((Boehle and Lindsay (1969)).

4.2.15 سمية الزنك والاحتمال Zinc toxicity and tolerance

تحدث سمية الزنك في المناطق المجاورة لمناجم الزنك أو أماكن الركام التالف. بعض أنواع النباتات تكون مقاومة للزنك وتستطيع أن تنمو في الترب التي يكون بها الزنك مرتفعاً بصورة غير اعتيادية. لقد وجد Antonovices et al. (1971) أن مستويات الزنك كانت بين 600 إلى 7800 جزء في المليون في المادة الجافة لأنواع نباتات نامية في ترب الكالامين Calamine (ترب بها سليكات الزنك المائية أو/وكربونات الزنك).

لقد أوضح Bradshaw 1952 أن عشب التجيل Agrostis tenuis قد زادت كثافته وتطور وكان مقاوماً لتلوث الترب بالزنك والرصاص في منطقة شمال ويلز التي كانت منطقة مناجم سابقاً. معلومات قيمة كثيرة حول آلية تحمل المعادن الثقيلة قد سبقت وقدمت الاستفادة لتمييز أصناف النباتات ذات التحمل والتي لا تقدر على التحمل لسمية الزنك والمعادن الثقيلة الأخرى. السلالات التي تتحمل الزنك من نجيل Agrostis tenuis تمتص

الزنك أكثر بالجذور من النباتات التي لا تتحمل ((Antonovics et al. (1971). في تجارب استعمل بها الزنك لاحظ Petersen (1969) أن الزنك مرتبط مع جزء البكتات Pectate على الأخص في الأنواع البيئية Ecotypes ذات التحمل. لكن هناك دليل جدير بالإعتبار بأن عملية الربط بجدار الخلية في الجذور ليست هي الآلية الوحيدة التي تمنع تركيزات عالية من الزنك عن مواقع الأيض النشط. يكون لبعض الأنواع النباتية والأصناف البيئية ذات القدرة على تحمل مستويات عالية جداً من الزنك في الأوراق وأجزاء النبات الأخرى. على سبيل المثال بين Carles et al. (1969) وجود المستويات المرتفعة جداً من الزنك (1000 جزء في المليون) في الأوراق للأصناف ذات التحمل من نباتات Armeria Helleri. هذه الملاحظة متوافقة مع نتائج Wainuright and Woolhouse (1975) الذي وجد أن مستويات الزنك غالباً تكون متساوية في النجيل اجروستس تينوس الحساس أو المتحمل للزنك والنامية في محلول مغذي به تركيز عالي من الزنك. لكن النباتات الحساسة للزنك فقدت 50 % والكلوروفيل في حين لم تتأثر النباتات التي تتحمل الزنك.

هناك بعض الأدلة الكيموحيوية تبرهن على أن الأوراق قادرة على احتواء كميات كبيرة من الزنك بدون أن تعاني من تأثيرات السمية. في دراسة على نبات الفاصوليا Phaseolus Vulgaris المقاوم للزنك فقد لاحظ Ruthore et al. (1972) عدم تشجيع لعملية تراكم الزنك في جدار الخلية لكن وجدت مستويات عالية جداً من الزنك في السيتوبلازم. ويظهر أن للميتوكوندريا Mitochondria طريقة ما في منع تنشيط الزنك. هذا ما تم اقتراحه بقوة من نتائج الباحثان Turner and Marshall (1972) بأن هناك علاقة

خطية موجبة بين درجة تحمل الزنك لنباتات أجروستس تينوس وسعة تحضيرات النباتات للميتوكوندريا لربط الزنك. لقد لاحظ أيضاً Wyn - Jones et al. (1971) الزنك ثبط الأكسجين بوساطة ميتوكوندريا نبات أجورستس تينوس المتحمل للزنك ولكن بدرجة أقل من الميتوكندريا المستخلصة من الأنواع البيئية الحساسة للزنك.

حسب Denaeter-Desmet (1970) فإن بعض أنواع النباتات تحتمل مستويات عالية من الزنك في التربة نتيجة لانخفاض مقدرتها على امتصاص الزنك. إن الآليات الفسيولوجية لتحمل المعادن الثقيلة في النباتات تمت مناقشتها في دراسة للباحث Wainwright and Woolhouse (1975).

ينتج عن سمية الزنك انخفاض في نمو الجذور وتمدد للأوراق التي تكون متبوعة بالاصفرار. لقد لاحظ Rauser (1973) في فول الصويا صبغة حمراء بنية والتي يحتمل أنها مادة فينولية Phenolic subatance توزع خلال كل النبات. إن المستويات العالية من الزنك في الوسط الغذائي يقلل من امتصاص الفسفور والحديد (Adriano et al. (1971)).

3.15 الزنك في تغذية النبات Zinc in crop nutrition

1.3.15 احتياجات المحصول والتيسر Crop requirment and avialability

إن نقص الزنك هو الأكثر شيوعاً في المغذيات الصغرى وقد أصبحت تتزايد في إنتاج المحاصيل. تختلف حساسية النباتات لنقص الزنك بدرجة كبيرة وهي معتمدة على نوع النبات والصنف أيضاً، فمحاصيل الحبوب مثل الشوفان والشعير والقمح والجاودار Rye وكذلك الأعشاب تكون غير حساسة كثيراً. المحاصيل الأخرى مثل البطاطس والطماطم

وبنجر السكر والصفصفة هي متوسطة الحساسية بينما المحاصيل التي تتضمن الذرة والجنجل Hop (عشب معمر) والكتان وفاصوليا الحقل تكون عالية الحساسية لنقص الزنك (Viets et al. (1954)). المجموعة الأخيرة مع أشجار الفاكهة والحمضيات والعنب قد تؤخذ في الاعتبار كمحاصيل اختبار لتيسر الزنك.

إن محتوى الزنك الكلي في معظم الترب يزيد بكثير عن احتياج النبات وتيسره هو العامل المحدد المهم ولكن بعض الترب الحامضية المغسولة بشدة تكون فقيرة جداً في الزنك بقيمة كلية تصل حوالي 10 – 30 جزءاً في المليون. تراكيز محلول التربة وخاصةً مستوى الزنك غير الثابت غالباً ما يكون منخفضاً ونقص الزنك قد ينتج من الترب يمكن أن يكون محتواها المنخفض أصلاً من الزنك من أصلها أو منشئها.

حركة الزنك في التربة لها أهميتها من حيث العلاقة بتيسره. لقد تم حساب الأجزاء الممتصة بوساطة الذرة بالتدفق الكتلي Mass flow وبالانتشار (أنظر 3.3.2 (Elgawhary et al. (1970)). تم تحديد التدفق الكتلي بواسطة Barber (1962) وهو حاصل ضرب تركيز محلول التربة وكمية النتح من النبات. لقد كان حساب الانتشار بأخذ الفرق بين الامتصاص الكلي والتدفق الكتلي. النتائج التي بينها Elgawhary et al. (1970) أن 95 % من الزنك الكلي قد تحركت بالانتشار. تدرجات الانتشار قد تحدث واستنـزاف مناطق مماثلة لتلك التي شرحت سابقاً عن الفوسفات باستخدام التصوير الإشعاعي الذاتي Autoradiographs ((Barber et al. (1963)). بما أن أنواع النباتات تختلف في احتياجاتها للزنك، فقد اقترح Lindsay (1972) بأن ربما كان هذا العامل الوحيد لشرح الاختلافات في

الحساسية لنقص الزنك لنباتات تنمو في بيئات متشابهة محددة. إن العوامل التي تحدد معدل انتشار الزنك لجذور النبات يجب أيضاً أن تقلل من تيسره. هذا من المحتمل أن يكون أهم سبب في نقص الزنك الذي يحدث في الترب المضغوطة Compacted soils أو حيث يكون نمو جذور النباتات مقيداً كما في الأصص أو أوعية تنمية النباتات.

إن تركيز الزنك المذاب في الماء في محلول التربة ينخفض بازدياد الرقم الهيدروجيني لذلك فإضافة الجير يقلل من امتصاص الزنك كما لوحظ في نباتات الزوان Ryegrass (Cohonie and Kiekens (1974)). من وجهة النظر العملية يكون هذا ذا أهمية حيث نقص الزنك يحدث عادةً أكثر في الترب المرتفعة الرقم الهيدروجيني طبيعياً أو التي أضيف إليها الجير بكثرة.

أما الترب الكلسية على الأخص فهي عرضة لنقص الزنك. لقد وجد Tanaka and Yoshida (1970) في مسح لأهم مساحات ينمو فيها الأرز في آسيا، أن نقص الزنك يحدث عادةً أكثر في الترب ذات الرقم الهيدروجيني العالي وعلى الأخص الترب الكلسية المرتفعة الرقم الهيدروجيني. ينخفض تيسر الزنك بالغمر بسبب تكوين الكبريتيدات Sulphides والكربونات تحت الظروف اللا هوائية (Yashida et al. (1971)). يتضح إن نقص الزنك في ترب الأرز المغمورة ينتج من التأثيرات المشتركة لارتفاع الرقم الهيدروجيني وارتفاع مستوى الكربونات HCO_3^- وإنتاج الكبريتيد وإعاقة الصرف الذاتي والنقص يكون مصحوباً في أكثر الأحيان بأعراض مرئية لسُمية الحديد.

وبطريقة مشابهة للحديد من حيث أن تيسر الزنك يعتمد أيضاً على محتوى التربة من العوامل المخلبية (أنظر الشكل 3.13) التي يمكن أن تفرزها جذور النبات الناتجة من تحلل المادة العضوية ((Lindsay (1974. هذا قد يكون السبب في أن كثيراً من الباحثين قد أوجدوا علاقة وطيدة بين تيسر الزنك والمادة العضوية للتربة (Follett and Lindsay (1970)) والسبب في تكرار حدوث نقص الزنك بالمواقع التي أزيلن منها التربة العضوية السطحية. أن الأيونات المعدنية المختلفة تتنافس على مواقع ربط العوامل المخلبية ((Lindsay (1974). إن الزنك المرتبط بمعقد اثليم ثنائي الأمين رباعي حامض الأستيك Zn-EDTA يحل الكالسيوم محله بالكامل عند قيم الرقم الهيدروجيني العالي وهذه الإزاحة للزنك بالكالسيوم قد ينسب إليها قلة تيسر الزنك في الترب الكلسية ذات الرقم الهيدروجيني العالي. هذه العلاقة الوطيدة بين تأثيرات المعقدات المخلبية وتيسر الزنك انعكس أيضاً في بحوث ((Haq and Miller (1972) حيث وجدوا علاقة معنوية مهمة بين محتوى الزنك في أغصان الذرة الحديثة المأخوذة من 85 موقعاً في "أونتاريو" والزنك المستخلص من هذه الترب بوساطة العوامل المخلبية (اثيلين ثنائي الأمين رباعي حامض الأستيك EDTA وثنائي اثلين ثلاثي الأمين خماسي حامض الأستيك DTPA) من ناحية أخرى فإن المادة العضوية قد تخفض تيسر الزنك.

بعض الترب العضوية خاصةً الخث Peats وترب الدبال Humic gley soils تعاني من نقص الزنك ((Lucas and Knzek (1972). إن المستوى المنخفض من الزنك قد يكون عامل مساهمة مهم لكن عامل التيسر يلعب دوراً من الناحية العملية فمن المعروف جيداً أن

المستويات العالية للفسفور الميسر في التربة تقلل تيسر الزنك. لقد كان معروف سابقاً أن هذا يحدث بسبب تكوين فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$ في التربة وبذا ينخفض تركيز الزنك في محلول التربة إلى مستويات تسبب النقص. هذه الحالة لم تكن ملاحظة في تجارب اختبار ذوبانية هذا المركب تحت الظروف المختلفة ((Juriank and Inouye (1962) حيث وجدوا أنه عندما كانت الذوبانية عند حدها الأدنى 100 مرة أكثر من تركيز الزنك الذي يحتاجه النبات لأقصى نمو له ((Carroll and Loneragen (1969) ويبدو تقريباً أن التأثيرات الفسيولوجية لتداخل الزنك والفسفور Zn / P في النباتات كما شرح سابقاً تكون أكثر أهمية في تحديد تيسر الزنك من العلاقة للزنك والفسفور في التربة.

قد يكون لنقص الزنك علاقة بالظروف الجوية، ففي بعض المناطق ذات درجات الحرارة الباردة وفصول الربيع الرطبة تظهر فيها أعراض النقص (Lacas and Knezek (1972)). وهذا يعتمد لحد ما على تطور الجذور في الترب الباردة أو انخفاض في تحرر الزنك من المادة العضوية بالأحياء الدقيقة بسبب انخفاض درجات الحرارة.

2.3.15 إضافة الزنك Zinc application

إن امتصاص النبات للزنك يكون عادةً أقل من 0.5 كيلوجرام/هكتار/السنة. نقص الزنك عملياً يكون من السهل تصحيحه إما بالرش أو بإضافة أسمدة زنك للتربة. وتكون الإضافات عادةً في مدى حوالي 4 كيلوجرام/هـ من الزنك وهذا فعال لمدة 3–8 سنوات، وتعتبر كبريتات الزنك $ZnSO_4$ الأكثر شيوعاً لاستعمالها بكثرة ولارتفاع درجة ذوبانيتها.

قد يكون من الأفضل في الترب الرملية الحامضية رش النباتات أو استعمال مصدر زنك أقل في سرعة التيسر لأن كبريتات الزنك سهلة الغسيل بدرجة كبيرة. نفس التطبيق يجرى في الترب القاعدية التي تثبت الزنك بقوة. تحت مثل هذه الظروف تستعمل مخلبيات الزنك بكثرة في الإنتاج الزراعي المكثف في المناطق الاستوائية شبه الاستوائية حيث يظهر ازدياد نقص الزنك. لقد وجد ((De (1974). زيادة ضخمة في إنتاج حبوب الدخن Pearl millet بإضافة كبريتات زنك للترب الرملية في الهند. إن تأثير إضافة الزنك على إنتاج الحبوب للقمح في موقعين في مصر موضح في الجدول (2.15).

Table 15.2 Effect of Zn application on the grain yield of wheat (SERRY *et al.* [1974])

Treatments	Alluvial Soil	Calcareous soil
	tonnes/ha	
NPK	4.21	1.49
NPK + Zn foliar spray	4.67	1.54
NPK + 24 kg $ZnSO_4$/ha soil appl.	4.68	1.86
NPK + 48 kg $ZnSO_4$/ha soil appl.	4.62	2.09

في التربة الرسوبية كانت الاستجابة للزنك متوسطة وكانت إضافة الزنك بالرش مماثلة في الكفاءة للإضافة للتربة. في التربة الكلسية إضافة الزنك للتربة ينتج عنه زيادة كبيرة في إنتاج الحبوب ((Serry et al. (1974).لقد بين ((Randhawa wt al. (1978) إن كثيراً من مناطق زراعة الأرز تعاني من نقص الزنك ويفضل إضافته. إن المعدلات التي ينصح بها حوالي 50-100 كيلوجرام كبريتات زنك/هـ. إن إضافة الزنك مع الجبس قد أثبتت دائماً أنها ذات فائدة ((Takkar and Singh (1978). إنه من الأهمية معرفة أن الأرز عرضة لنقص الزنك

تحت ظروف المناخ البارد على العموم إضافة الزنك للتربة هي أفضل من الرش وهناك شرح تفصيلي عن أسمدة الزنك واستخداماتها في بحوث (Lindsay (1972), Giordano and Mortvedt (1972)).

الفصل السادس عشر

النحاس

1.16 نحاس التربة Soil copper

يوجد النحاس في التربة غالباً في صورة ثنائية التكافؤ. الجزء الأكبر من النحاس يكون عادةً موجوداً في الصفائح البلورية للمعادن الأولية والثانية، بالإضافة إلى أن النحاس يوجد في المركبات العضوية فإنه أيضاً موجود ككيتون متبادل على غرويات التربة وهو من مكونات محلول التربة. في دراسة تجزئة النحاس في ترب بريطانيا فقد وجد Mclaren and Crowfoed (1973) أن مستويات النحاس الكلي تكون في مدى حوالي 5 – 50 جزءاً في المليون وجزء كبير منها كان موجوداً على شكل مثبت ويكون تركيز النحاس في محلول التربة عادةً منخفضاً جداً ويصل حوالي 1×10^{-8} – 60×10^{-8} مولر.

لقد لاحظ Hodgson et al. (1966) أن أكثر من 98 % من نحاس محلول التربة يكون معقداً مع المادة العضوية. في الحقيقة النحاس يرتبط بقوة مع المادة العضوية أكثر من ارتباط كاتيونات العناصر الصغرى الأخرى مثل الزنك والمنجنيز وتلعب معقدات النحاس العضوية دوراً مهماً في تنظيم حركة النحاس وتيسره في التربة.

في مقارنة النحاس مع الكاتيونات الأخرى فإنه يكون مرتبطاً بشدة على مواقع التبادل غير العضوية Grimme (1968) وهذا النحاس التبادلي غير ميسر بسهولة للنباتات، ولكن يمكن أن يحدث تبادل كاتيوني لأيون النحاس الثنائي Cu^{+2} والأحادي CuOH ويظهر أن تأثير أيون الهيدروجين هو الأكثر فعالية في هذه العملية على الأقل فإنه بارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة عن طريق إضافة الجير ينخفض النحاس الميسر بصورة عامة، وتركيز النحاس في محلول الترب الطباشيرية (عالية الكالسيوم) على الأخص يكون منخفضاً حسب

(1972) Lindsay فإن مستوى النحاس في محلول التربة ينخفض بارتفاع الرقم الهيدروجيني وذلك بسبب إدمصاصه القوي.

إن توازن التركيز الاتزاني للنحاس المحافظ عليه بواسطة أملاح النحاس شحيحة الذوبان مثل الكربونات والأكسيدات أعلى من المستويات الطبيعية للنحاس في محلول التربة عليه فإن وجد الكربونات والأكسيدات في التربة لا تلعب دوراً في إعاقة تيسر النحاس. إن تركيز النحاس في محلول التربة يتحكم به النحاس المدمص على حبيبات التربة.

بما أن النحاس يرتبط بالتربة بقوة فإنه يكون غير متحرك فإن النحاس المضاف للتربة كنتيجة لاستخدام الرش المحتوي على النحاس أو أسمدة يكون وجوده على الطبقة السطحية للتربة (1963) Delas. إن محتوى النحاس للكثير من الترب ينخفض مع عمق مقطع التربة. يمكن إزالة النحاس من التربة بأحماض قوية أو باستعمال مركبات عضوية والتي تكوّن معقدات نحاس وأهمية هذه الكواشف المعقدة تكمن في أن سيفيد البوتاسيوم KCN يكون قادراً على استخلاص أكثر من 50 % من النحاس الكلي في التربة بينما تستخلص الكواشف غير المعقدة Non complexing reagent بكميات قليلة جداً منه. لقد بين (1963) Beringer أن تأثيرات عدد من الكواشف المعقدة على تيسر النحاس وذلك بإضافة كبريتات النحاس $CaSO_4$ إلى الترب الدبالية الرملية الفقيرة في النحاس فينتج عنه في الغالب امتصاص معظم النحاس بعد ساعتين، لكن عندما عومل نقص التربة بمخلبيات نحاس مختلفة فقد إدمص جزء ضئيل من النحاس المضاف. إن مدى إدمصاص النحاس ينخفض كلما زاد استقرار الكلابيات الثابتة المضافة (الجدول 1.16).

Table 16.1 Cu adsorption of various Cu compounds by a humic sandy soil, low in Cu (BERINGER [1963])

Cu compound	Stability constant (log K)	Adsorption in % of the total Cu applied
$CuSO_4$	–	99.4
Cu-nitrilo triacetate	12.1	44.5
Cu-ethylene diamine tetraacetate	18.3	7.3
Cu-diaminocylohexan-N, N′-tetraacetate	21.3	5.3

بما أن نقص النحاس يحدث أولاً في الترب الغنية بالدبال التي تربط النحاس بقوة فإنه يمكن افتراض أن مواد عضوية معينة تكون قادرة على ربط النحاس وجعله غير ميسر، لقد تم تأكيد هذا بدراسة النشاط النيتزوني للنحاس المغلف بالمادة العضوية في محلول التربة Mercer and Richmond (1970) حيث بينا أن تيسر النحاس في الترب العضوية لا يعتمد فقط على تركيزه في محلول التربة لكن يعتمد أيضاً على الصورة التي توجد عليها معقدات النحاس في محلول التربة التي لها وزن جزيئي أقل من 1000 تكون أكثر تيسراً للنباتات من معقدات النحاس التي وزنها المكافئ أكثر من 5000.

2.16 النحاس في الفسيولوجي Copper in Physiology

1.2.16 الامتصاص والانتقال Uptake and Translocation

يمتص النبات النحاس بكميات ضئيلة فقط. محتوى معظم النباتات منه يكون عموماً بين 2 إلى 20 جزء في المليون في المادة الجافة بذا فهي حوالي $^1/_{10}$ من محتوى المنجنيز. يظهر أن امتصاص النحاس يكون بعملية أيضية وهناك دليل بأن النحاس يثبط بقوة امتصاص الزنك والعكس الصحيح Schmid et al. (1965) Browen (1969).

ومع ذلك فامتصاص النحاس لا يكون معتمداً بدرجة كبيرة على تأثيرات التنافس ولكن له علاقة أولية بمستويات تيسر النحاس في التربة باستخدام جذور مستأصلة من أنواع نباتات مختلفة فقد وجد أن النحاس يمكن أن يحل محل معظم الأيونات الأخرى من مواقع الجذور التبادلية ويرتبط بقوة في الفراغات الحرة للجذور Root free space Keller and Deuel (1958). هذه الملاحظة يمكن أن تؤكد أن جدار الجذور كثيراً ما يحتوي على نحاس أعلى مما تحتويه أنسجة النبات الأخرى Hill (1973), Russ (1958).

بالرغم من أن النحاس يستطيع الانتقال من الأوراق القديمة إلى الحديثة إلا أنه لا يتحرك بسهولة في النبات نتائج Loneragan (1975) تبين أن حركة النحاس تعتمد بقوة على حالته داخل النبات.

وتحدث حركة النحاس من الأوراق إلى الحبوب بسرعة في نباتات القمح المزود جيداً بالنحاس لكن في النباتات التي تعاني من نقص النحاس تتوقف حركته نسبياً. لقد بين Tiffin (1972) أن في عدد من أنواع النباتات يكون النحاس موجوداً في إفرازات الخشب على شكل معقدات نحاس أنيونية. عدة أشكال نحاس أنيونية قد لوحظت في نبات الزوان Ryegrass Bremner and Knight (1970). بما أن للنحاس انجذاب قوي لذرة نيتروجين الأحماض الأمينية فقد اقترح Tiffin (1972) أنه من المرجح أن تعمل هذه المركبات كحامل للنحاس في السوائل النباتية.

2.2.16 الوظائف الكيموحيوية Biochemical functions

توجد تراكيز عالية نسبياً من النحاس في الكلوروبلاستات لقد وجد Neish (1939)

أن حوالي 70% من النحاس الكلي في الورقة كان مرتبطاً في الكلوروبلاستات. في هذا الخصوص فإن النحاس يشابه الحديد. ويدخل النحاس في مكونات بروتين بلاستوسيانين الكلوروبلاست Protein plastocyanin الذي يكوّن جزءاً من سلسلة النقل الألكتروني الرابط لنظامي التفاعلات الكيموضوئية Photochemical لعملية التمثيل الضوئي Boardmon (1975), Bishop (1966). هناك دليل إضافي يقترح أن النحاس قد يلعب دوراً في تمثيل أو استقرار الكلورفيل وصبغات النبات الأخرى رغم أن الآلية غير واضحة.

هناك عدة أنزيمات تحتوي النحاس وهي معروفة بأنها تساعد في التفاعلات التي تختزل ذرتي جزيء الأكسجين وهذه الإنزيمات المؤكسدة Oxidase تضم السيتوكروم أوكسيدز Cytochrome oxidase وعدد من الأنزيمات الأخرى مثل أنزيمات أكسدة حامض الأسكوربك Ascorbic acid oxidase وأنزيم أكسدة الفينول المتعددPolyphenol oxidase واللاكيز Laccase. التفاعلات التي تساعد بواسطة أكسدة حامض الأسكوربيك والفينول المتعدد (التيروييينيز Tyrosinase) تستخدم اختزال الأكسجين والهيدروكسيلات وهذا سنوضحه في مراجعة قدمها الباحث Gansalus et al. (1975). إن مادة دوبامين Dopamine هي مادة أمين ثنائي الهيدروكسيفنيل Amine of hydroxyphenylalanine والأنزيم دوبامين بيتا هيدوكيليز Dopamine - β - hydroxylase الذي يساعد في تفاعل أنزيم أكسدة حامض الاسكوربيك.

في تفاعلات أكسدة الفينول مثل أحادي وثنائي الفينول تكون مرتبطة حسب التفاعلات التالية:

Dopamine + O_2 + Ascorbic acid

$$HO-C_6H_3(OH)-CH_2-CH_2-NH_2 + O_2 + \text{Ascorbic acid} \xrightarrow{\text{Dopamine-}\beta\text{-hydroxylase}} HO-C_6H_3(OH)-CH(OH)-CH_2-NH_2 + H_2O + \text{Dehydroascorbic acid}$$

Dopamine-β-hydroxylase

Hydroxy dopamine + H_2O + Dehydroascorbic acid

$$AH_2 + \text{Monophenol} + O_2 \rightarrow A + \text{Diphenol} + H_2O$$

$$BH_2 + \text{Diphenol} + O_2 \rightarrow B + \text{o-Quinone} + 2H_2O$$

يتميز هذا النوع من التفاعل بانشقاق جزيء الأكسجين إلى مكوناته الذرية حيث

أن واحدة من ذرات الأكسجين تستعمل في تفاعل الهيدروكسيل والأخرى لإنتاج الماء H2O في هذا التفاعل تأكسد جزيء الفينول الأحادي وينتج الفينول الثنائي الذي بدوره يتأكسد إلى مركب أو- كينون O-quinone التي تتراكم وتزيد من عملية البلمرة Polymerisation حيث عن طريقها تتكون مركبات الميلانين Melanin ذات اللون البني الداكن كما يحدث عند قطع الفاكهة والبطاطس وتتعرض الأنسجة لأكسوجين الهواء الجوي.

نتائج تجارب حديثة تقترح أن عملية عدم التشبع Desaturation وعملية إضافة الهيدروكسيل Hydroxylation للحامض الدهني يدخل فيها أنزيمات حاملة للنحاس كعامل مساعد Wahle and Davies وبهذا فإن عدم تشبع الحامض الستيارس Stearic acid بوساطة أنزيم qΔ- اللاتشبعي Δq-desaturase الذي ينتج عند تكوين حامض الأوليك Olic acid يحتاج إلى النحاس والأكسجين ويعتقد أن للنحاس دوراً غير مباشر في تفاعلات الأكسدة هذه وخضوعها لأكسدة حلقية مرتبطة بانتقال الالكترونات.

ويفترض في البروتينات المؤكسدة أن ذرات النحاس تكون موجودة في حالة مزدوجة حيث يمكن انتقال إلكترونين إلى جزءين واحد من الأكسجين. $Cu^{+2} \rightarrow CU^{+}\text{-}e^{-}$

هناك تطور مثير للاهتمام قد حدث يأخذ في الاعتبار دور النحاس والزنك في الكيمياء الحيوية. لقد وجد النحاس والزنك في أنزيم فوق أكسيد ميوتيز Enzyme superoxide dis-mutase الموجود في كل الكائنات الهوائية الحية Macord et al (1971) و Fridovich (1975). الوزن الجزيئي لهذا الأنزيم حوالي 32000 ويحتوي على ذرتي نحاس وذرتي زنك والتفاعل الذي يدخل فيه يكون أساسيات مادة

الأكسدة الفوقية غير المفاجئة Dismutation of superoxide radicals

$$O^-_2 + O^-_2 + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$$

مادة الأكسدة الفوقية الأساسية Superoxide radical التي يمكن أن تتكون بسرعة من جزيء الأكسجين تكون صورة من الأكسجين الحر عالية الفعالية وضارة إلى حد بعيد للخلايا. إن وجود أنزيم فوق أكسيد الميوتيز يجعل الكائنات الحية قادرة على المعيشة في وجود الأكسجين الجزيئي. لقد أصبح معتقد أن الكائنات الحية اللا هوائية إجبارياً لا تستطيع مقاومة الأكسجين الجزيئي بسبب غياب أنزيم فوق أكسيد الميوتيز.

إلى جانب أدوار النحاس المعروفة جيداً كما ذكر فيبدو أن له وظائف أخرى في عمليات أيض النبات وهذا منصوص عليه في عدة مراجع. يظهر أن النحاس يشترك في عمليات أيض البروتين والكربوهيدرات ويضطرب بناء البروتين في النباتات التي تعاني من نقص النحاس حيث تتكون مركبات النيتروجين الأميني الذائبة Possingham (1956) هذا يمكن شرحه بوظيفة النحاس كعامل مساعد في بناء الأنزيم وكذلك بإمكانية تأثير النحاس على بناء الأحماض النووية DNA و RNA في الأعضاء الحديثة النمو حيث بناء البروتين يكون في أقصى نشاطه قد لوحظ انخفاض مستويات الحامض النووي DNA في الأنسجة التي تعاني من نقص النحاس Ozolina and Lapina (1965).

لقد اقترح Hallsworth et al. (1960) من خلال المشاهدات بأنه يوجد احتياج معين للنحاس في تثبيت النيتروجين التكافلي فعند المستويات الغذائية المنخفضة من النحاس فإن العقد الجذرية لبكتيريا ترايفوليم سبتيرانيم Trifolium subterraneum قد انخفض كثيراً

وهذا الانخفاض لم تعرف البتة بعد. لقد افترض أن النحاس قد يستخدم في تكوين اللهيموجلوبين Leghaemoglobin (1960) .Hallsworyh et al. هناك احتمال آخر بأن نقص النحاس يخفض نشاط أنزيم الأكسدة الطرفية Terminal oxidase (أكسدة السيتوكروم Cytochrome oxidase في العقد الجذرية التي بالمقابل ينتج عنها زيادة في الشد الأكسوجيني في خلايا العقد غير القادرة على تثبيت النيتروجين (Carwright and .(Hallsuorth (1970)

3.2.16 نقص النحاس وسميته Copper deficiency and toxicity

نقص النحاس معروف جيداً في عدد من المحاصيل النباتية المختلفة، ففي محاصيل الحبوب يظهر النقص أولاً في حواف الورقة عند مرحلة التفرع Tillering رغم أنه في حالات النقص الشديد قد تظهر الأعراض مبكراً وتصبح الحواف بيضاء والأوراق تكون هزيلة وملتوية وأن نمو السلاميات يتناقص (1958) .Brown et al. وبتقدم النمو يصبح النقص أكثر شدة. في الحالات القصوى فإنه ينعدم تكوين السنبلة أو العنقود الزهري (أنظر اللوحة 1.16) أن الخاصية النموذجية للنقص في محاصيل الحبوب هي طبيعة النمو الكثيف للنباتات وتكون القمم النامية ذات حواف بيضاء ملتوية مع انخفاض تكوين العناقيد الزهرية عندما يكون النقص أقل حدة قد يحدث تكوين عناقيد زهرية لكن لا تتطور السنابل بالكامل وقد يكون جزء منها فارغاً (1960) Scharrer and Schaumloffe ترتبط هذه الأعراض مع دور النحاس في حيوية حبوب اللقاح عند نقص النحاس في الأشجار يمكن أن يحدث تطور لأشكال (1966) Oldenkamp and Smilde. ويعتقد بأن أعراض هذا النقص لها علاقة

خاصة بدور النحاس في نشاط أنزيم أكسدة الفينول المتعدد Polyphenole oxidase ومن ثمّ بناء اللجنينات Lignins حسب Rahimi and Bussler (1973) فإن عملية تكوين اللجينين Lignification تتوقف في الأنسجة التي تعاني من نقص النحاس ويرتبط هذا مع تطور الأوعية الخشبية غير المكتملة؛ هذه الوظيفة للنحاس تبين العلاقة الوثيقة في محاصيل الحبوب بين وضع تغذية النحاس واستقرار جودة التبن هنا يوضح أيضاً التداخل بين إضافة سماد النحاس والنيتروجين وعلاقتها بالرقاد Lodging ((Vetter and Teichmann (1968). ومن مميزات سلوك نقص النحاس تأثيره على الأنسجة الحديثة التكوين التي يظهر أنها تعتمد على انخفاض حركة النحاس في النباتات التي تعاني من نقصه (Lonergan (1975. هناك مسح تفصيلي عن أعراض نقص النحاس في عدد من نباتات المحاصيل قدمها الباحث Reuther labanauskas (1966) , Caldwell (1971).

إن الكميات الكبيرة من النحاس في الوسط الغذائي تكون سامة لنمو معظم أنواع النباتات ويظهر أن جزءاً من هذا التأثير له علاقة بمقدرة النحاس على الإحلال محل الأيونات المعدنية الأخرى وخاصةً إزاحة الحديد من المراكز الهامة فسيولوجيا، لذا فإن الاصفرار هو عرض شائع لتسمية النحاس ويكون عموماً ملاحظ كأعراض سمية النحاس المشابهة ظاهرياً لأعراض نقص الحديد (Dauiels et al. (1972.

لقد قارن (Wainwright and Woolhoase (1975 تأثيرات زيادة تراكيز النحاس في محاليل مغذية على صفائح البلازما Plasmalemma لجذور غير مقاومة وأخرى مقاومة للنحاس من النجيل اجروستس تينيوس Agrostis tenuis وتم قياس تضرر صفائح البلازما



Plate 16.1 Cu deficiency in oats, left normal, right, deficient
(Photo: MENGEL)

عن طريق تسرب البوتاسيوم حيث كان مرتفعاً في الأنواع غير المقاومة. لقد

استخلص بأن تأثير زيادة النحاس كان ضار للتركيب الغشائي وجزءاً من سلوك مقاومة النحاس تعمل خلال آلية منع في صفائح البلازما، يلعب الكالسيوم دوراً ضرورياً في حفظ التركيب الغشائي (أنظر 7.1.3)

إن توقف نمو الجذور هو أحد أكثر الاستجابات سرعة لمستويات النحاس السامة. لقد وجد Wallace et al. (1966) بأن المستويات العالية للكالسيوم تخفف سمية النحاس وبذلك تدعم الرأي بأن زيادة النحاس تحدث تأثيراً ضاراً على التركيب الغشائي في تجارب على أنواع النباتات التي تنمو على ترب تحتوي كميات كبيرة من النحاس في "زائير" قد لاحظ Duvigneaud and Denager - De smet (1959) أن بعض أنواع النباتات كانت قادرة على تجميع مستويات عالية من النحاس بما يقدر بحوالي 1000 جزء في المليون في المادة الجافة، السبب بأن مثل هذه النباتات لم تظهر أي علامات لسمية النحاس مع قدرتها على النمو في هذه الترب غير واضح لأن بعض أنواع النباتات تقوم بتجميع مستويات عالية من النحاس في الجذور، وبذلك قد يفترض أن منع الامتصاص يكون فعالاً بهذا فإن كميات كبيرة من النحاس تكون مرتبطة بمواقع الشحنات السالبة للمواد البكتينية Pictic (مجموعات الاكسيل Coo) في جدران خلايا لحاء الجذور في بعض أنواع النباتات الأخرى يكون هناك —بدون شك– تجميع النحاس بقيم تتراوح ما بين 2 إلى 50 ضعف القيم الطبيعية للنحاس الموجودة في الأوراق في هذه النباتات السلوك السام من وفرة النحاس يكون بطريقة ما قد منح النتائج الموجودة في الشكل (1.16) ربما تعطي دليلاً عن كيفية حدوث هذا (Reilly (1969)). الشكل يبين أن هناك علاقة ذات ارتباط كبير (0.84) بين قيم النحاس والنيتروجين الكلي في أوراق كل من بيسيوم هميلي Bacium homblei وزهرة النحاس الروديسية والنبات المقاوم للنحاس. هذه النتائج لم تعط أدلة فسيولوجية عن العلاقة بين

النحاس والنيتروجين بالرغم من ذلك فقد وجد ((1969) Reilly أن النحاس قد يكوِّن مركبات رابطة مع مجموعات الأمين NH_2 ذات مميزات الأحماض الأمينية والبروتينات وهذه الملاحظات قد أكدها (Tiffin 1972). هذه النتائج قد تعطي تفسيراً لمقاومة بعض النباتات للنحاس، وما إذا كان النحاس في النبات كمركب معقد وأنه يكون من المرجح بأن الزيادة من أيونات النحاس Cu^{+2} بالمراكز النشطة فسيولوجياً تكون محددة حتى رغم احتواء النبات على مستوى عالٍ من النحاس (الشكل 1.16).

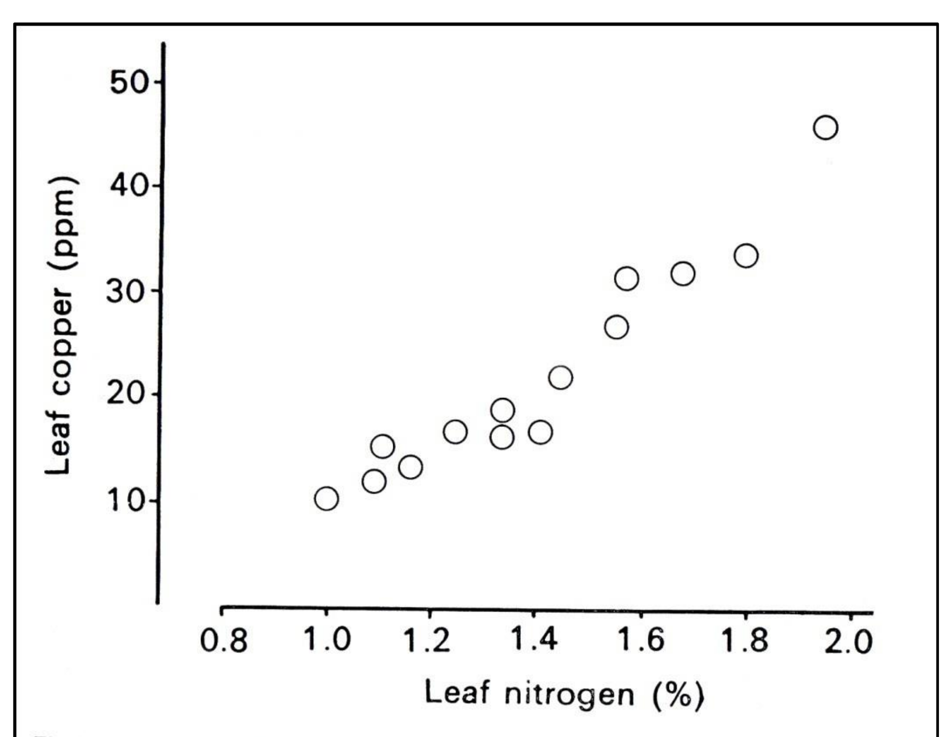


Fig.16.1 Relationship between N and Cu content in the leaves of the Rhodesian copper flower, *Becium homblei* (after Reilly [1969]).

3.16 النحاس في تغذية النبات Copper in crop nutrition

1.3.16 احتياجات النبات وتيسره Crop requirement and availability

بما أن محتوى النحاس الكلي لمادة النبات تكون عادةً أقل من 10 جزء في المليون فإن احتياج النباتات للنحاس تناظرياً قليلة. إن معظم الترب تحتوي مستويات كافية من النحاس الميسر لتغطية ذلك الاحتياج، في الترب التي يحدث فيها نقص بالنحاس إما تكون في الأصل منخفضة في النحاس أو أنها من المألوف فقيرة في تيسر النحاس. مجموعات الترب المنخفضة النحاس في الأصل تضم الترب المغسولة بشدة مثل ترب البدزول الرملية Sanly podzolic soils والترب المتطورة عن مادة أصل فقيرة في النحاس فئة الترب الثانوية حيث تيسر النحاس هو الذي يحدد امتصاصه بالنبات وهي الترب العضوية والخث Peaty والكلية وبعض الترب العالية في محتوى الطين، إن نقص النحاس يكون عموماً في ترب الخث المستصلحة حديثاً لهذا السبب فقد سمي النقص بمرض الاستصلاحReclamation disease.

إن النباتات تختلف في حساسيتها لنقص النحاس، وعموماً فمعظم النباتات التي تستجيب لأسمدة النحاس هي الشوفان والسبانخ والقمح والصفصفة، النباتات المتوسطة الاستجابة هي الكرنب والقرنبيط وبنجر السكر والذرة في حين بينت الفاصوليا والحشائش والبطاطس وفول الصويا استجابة منخفضة. تأثير سماد النحاس على الشوفات وهو من أكثر المحاصيل حساسية موضح في الجدول (2.16) من نتائج (Scharrer and Schaumloffel (1960))، وهذه النتائج من تجربة أجريت في صوبة زجاجية وهي تبين بوضوح أن نقص النحاس يخفض إنتاج الحبوب لصالح زيادة تكوين المادة الخضراء للنبات، إن دراسة نقص

النحاس في الحقل تكون أكبر تعقيداً من الدراسة تحت ظروف الصوبات، ففي مسح مكثف لنقص النحاس في الترب الرندزينا الباشيرية Chalk rendzina soils ولاحظ Daries et al (1971) أن أعراض نقص النحاس في الشعير والقمح قد تفاقمت عندما زرعت بعد محصول الكرنب Brassica، لقد لوحظت أعراض الاسوداد في القمح وأعراض النقص كانت تبرز في ظروف الصيف الحار الرطب. الجدول (2.16).

لأن إضافة السماد قد تؤدي إلى بداية نقص النحاس وخاصةً عند إضافة مستويات عالية من النيتروجين Reuthhor and Labanauska (1966) إن استخدام أسمدة الفوسفات لمدة طويلة هو سبب نقص النحاس في بعض الترب Bmgham (1963) حسب Dekock et al. (1941) فإن إضافة الفوسفات لترب الخث المنخفضة في النحاس الميسر قد يحفز النحاس في النباتات بفعالية أكثر عن طريق عملية تمثيل بروتين النبات الذي يربط النحاس بسبب إضافة أسمدة الزنك كذلك أتضح حدوث تفاقم في نقص النحاس في الترب ذات المستويات الحدية من النحاس ((Chaudhry and Lonangan (1970).

Table 16.2 Effect of Cu application on the yield of oats, grown on a Cu deficient soil (SCHARRER and SCHAUMLÖFFEL [1960])

Cu application, mg Cu/kg soil	Straw, g/pot	Grains, g/pot
None	72.6	29.6
1.2	57.0	56.7
8.3	58.4	57.7

2.3.16 إضافة النحاس Copper Application

في تقييم نحاس التربة الميسر فقد استعملت كل من مستخلصات مخلبية وغير عضوية لاستخلاص مع حامض النيتريك N HNO_3 أوصى ((Henkens (1965) بأن الحد الأدنى للنحاس 4 جزء في المليون هي مقياس كافٍ لنمو محاصيل الحبوب باستعمال العامل المخلبي DTPA (ثنائي اثيل ثلاثي الأمين خماسي الأستيت Diethyl triaminepentacetate) الذي يكون أكثر حساسية من EDTA فقد أقترح ((Follett and Lindsay (1970) أن 0.2 جزء في المليون هو المستوى الحرج للنحاس في هذا المستخلص.

إن استخلاص نحاس التربة بالمخلبيات يتضمن DTPA لا يعطي دائماً نتائج موثوقاً فيها. لقد وجد Haq and Miller (1972) علاقة ضعيفة بين محتوى النحاس في نباتات الذرة وكمية النحاس المستخلص من التربة بواسطة عدد مختلف من العوامل المخلبية.

هناك طريقة أخرى لتقدير حالة النحاس للنبات عن طريق تحديد نشاط الأنزيم المحتوي على النحاس في النبات. إن نشاط أنزيم أكسدة حامض الأسكوربيك Ascorbic acid oxidase في أوراق الحمضيات قد بين ارتباطاً جيداً مع مستويات النحاس في الوسط الغذائي ((Bar akiva et al. (1969). إن محتوى النحاس في أوراق القمح والشعير قد استعملت في تشخيص نقص النحاس. لقد اقترح Davies et al. (1971) تجريبياً بأن مستويات النحاس أقل من 2 جزء في المليون هي دليل على النقص بينما المستويات الأعلى من 3 جزء في المليون قد تكون كافية. إن محتوى الحبوب من النحاس يعتبر دليلاً موثوقاً فيه حول حالة النحاس الغذائية لمحاصيل الحبوب وهذا موضح في الشكل (2.16)

الذي يبين نسبة حبوب الشوفان الفارغة مع محتوى الحبوب من النحاس والمحتوى الحرج حوالي 2.5 – 3.0 جزء في المليون نحاس في المادة الجافة (Russ (1958)).

عند الأخذ في الاعتبار أن متوسط امتصاص محاصيل الحبوب للنحاس فقط حوالي 20 – 30 جرام / هكتار فمن الواضح أن كمية النحاس الضرورية الواجب إضافتها تكون قليلة. بذلك كما ذكر سلفاً بأن النحاس يرتبط بالتربة بقوة. لهذا السبب يجب أن يضاف سماد النحاس بكميات تفوق امتصاص النبات بكثير. كل من أسمدة النحاس العضوية وغير العضوية تكون إضافتها لتخفيف نقص النحاس (Murphy and Walsh (1972), Coldwell (1971)).

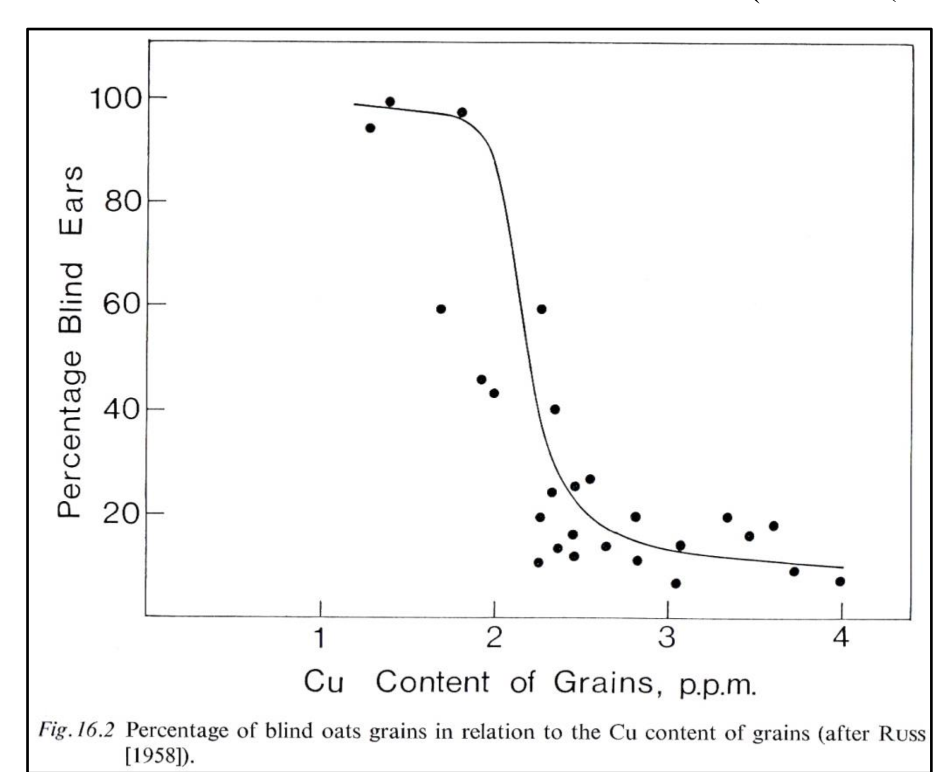


Fig. 16.2 Percentage of blind oats grains in relation to the Cu content of grains (after RUSS [1958]).

في معظم الأحيان يضاف كبريتات النحاس $CuSO_4$ للتربة بواقع مرة واحدة حوالي 1–10 كيلوجرام/هكتار تكون عادةً كافية في الترب المعدنية بينما تحتاج الترب العضوية مستويات أعلى قليلاً ((Reuther and Lababauskas (1966)).

هناك عدد من المشاكل ترتبط بكبريتات النحاس، فعندما يضاف هذا الملح للتربة يتحول جزء كبير من أيونات النحاس Ca^{+2} لمحلول التربة ويكون غير متحرك لإدمصاصه القوي على المواقع التبادلية بالإضافة إلى تأثيرات البقايا السمية التي تنتج في بعض الترب. لقد تمت التوصية بإضافة كلية لا تتعدى 22 كيلوجرام نحاس/هكتار عند زراعة خضراوات ومحاصيل حقلية ذات استجابات منخفضة ومتوسطة للنحاس (Murphy and Walsh (1972)). لقد خفت بعض التأثيرات للنحاس المتبقي من الإضافة للتربة إما باستخدام غبار معدن النحاس الذي يحرر النحاس بمعدل بطيء ((Kühn and Schaumloffe (1961) أو المخلبيات المعتاد استعمالها أكثر يبين النحاس في صورة الكبريتات وكلوريد النحاس الاكسجيني وأكسيد النحاس أو النحاس المخلبي مرة أخرى تكون صورة الكبريتات أقل إرضاء بسبب حروق الأوراق. إن مزج أملاح النحاس مع البذور قد استعملت رغم أن النتائج كانت متباينة ((Murphy and Walsh (1972)).

إن سمية النحاس للنباتات لا تحدث أكثر الأحيان في التطبيقات العملية بسبب أن النحاس يكون مرتبطاً بقوة بحبيبات التربة يمكن أن تظهر السمية في الترب المتأثرة بالنحاس الخام أو في الترب التي عوملت بأملاح النحاس لفترة أعوام طويلة. في بعض الترب في فرنسا التي زرعت بالأعناب Vines مع استعمال مخلوط بوردو Bordeaux Mixture لمدة طويلة

قد وجد بها مثل ذلك التأثير السام ((Delas (1963) يتضح أن سمية النحاس تحدث بأقصى حدة في الترب الحامضية التي لا يكون فيها نحاس مرتبطاً بقوة (Drouineau and Mazoyer (1962))، وبذا يكون أكثر تيسراً للنباتات. مشاكل سمية النحاس قد تصبح حادة خاصةً عند إضافة مخلفات محتوية على نحاس للتربة بصورة منتظمة. مثل هذه الترب قد تكون متأثرة بحدة بسبب المعدل المنخفض للنحاس الذي عنده يكون الغسيل إلى داخل طبقات التربة الأعمق. لقد أجاب Dan kafoed (1980) عن هذا الاستفسار بأن بقايا الخنازير والأوحال (الحمأة) خاصةً تلك التي ذات الأصل الصناعي قد تكون عالية المحتوى في النحاس (أنظر الجدول 3.16).

Table 16.3 Cu concentrations of organic manures and wastes (DAM KOFOED [1980])

	ppm Cu in fresh weight	dry weight
Cattle manure	9	34
Pig manure	21	86
Poultry manure	30	69
Slurry, pig	18	265
Slurry, cattle	4	43
Sludge, household	46	113
Sludge, industry	353	1477

عادةً فإن إضافة هذه المواد إلى التربة قد ينتج عنه مستويات نحاس سامة. إن النباتات تختلف في حساسيتها لسمية النحاس، فالبقوليات على الأخص من المفروض أن تكون حساسة. إن المواد النباتية الغنية بالنحاس قد تكون ضارة للحيوانات. المجترات وخاصةً الأغنام تكون أكثر حساسية للعلف الغني بالنحاس من الخنازير أو الدواجن. إن تركيز حوالي 50 جزءاً في المليون نحاس في المادة الجافة يعتبر الحد الأعلى للعلف.

الفصل السابع عشر

المولبيدنم

1.17 موليبدنم التربة Soil molybdenum

إن المحتوى الكلي للموليبدنم في معظم الترب الزراعية يقع بين 0.6 – 3.5 جزء في المليون ((Swaine (1955) مع متوسط للمحتوى الكلي حوالي 2.0 جزء في المليون ومتوسط الميسر حوالي 0.2 جزء في المليون (Chemy and Ouellette 1973) ولكن محتوى الترب من الموليبدنم يعتمد بدرجة كبيرة على مادة الأصل Parent material. حسب Massumi (1967) فإن الموليبدنم الذائب في الأوكسالات في عدة ترب في شمال ألمانيا كان الأعلى، وفي ترب المستنقعات وترب البدزول كانت الأقل.

إن مدى الموليبدنم الذائب في الأوكسالات لعدة أنواع من الترب كان كالآتي:

– ترب المستنقعات	1.4–0.17 جزء في المليون
– ترب البدزول البنية الرمادي	0.50–0.10 جزء في المليون
– ترب الخث Peat	0.50–0.10 جزء في المليون
– ترب البدزول	0.36–0.09 جزء في المليون

بالمقارنة مع المعادن الثقيلة التي قد نوقشت فإن الموليبدنم يوجد في التربة كمعقد أكسوجيني Oxycomplex (MoO^{-2}_4) هذه الخاصية تفرّق الموليبدنم بوضوح عن مغذيات المعادن الثقيلة الأخرى والموليبدات Molybdates يشابه كثيراً الفوسفات أو كبريتات في سلوكه في التربة. معادن السسكاأووكسيدات Sesquixides والطين تدمص الموليبدنم بطريقة مشابهة بالفوسفات. لذا يكون الإدمصاص في معظم الحالات من ارتباط تبادلي Ligand exchange وهو بذلك يكون أكثر خصوصية وانيون الموليبدات يكون مرتبطاً بقوة

((Hingston et al. (1972). من كل مغذيات النبات فإن أنيونات المولبيدنم يكون ترتيبها الثاني بعد الفوسفات في قوة الربط الإدمصاصية ((Parfitt (1978). إن إدمصاص المولبيدات تطابق حرارياً الفوسفات ويمكن وصفها بالتقريب بمعادلة لانجموير Langmuir equation. يوضح بالشكل (1.17) منحنى إدمصاص المولبيدنم المثالي من عمل (1970) Barrow؛ قوة إدمصاص المولبيدنم مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني كما أنه ملائم لعمليات إدمصاص كل الأنيونات. حسب بحوث (1962) .Reisenauer et al بأن أقصى إدمصاص للمولبيدنم يحدث عند الرقم الهيدروجيني 4.

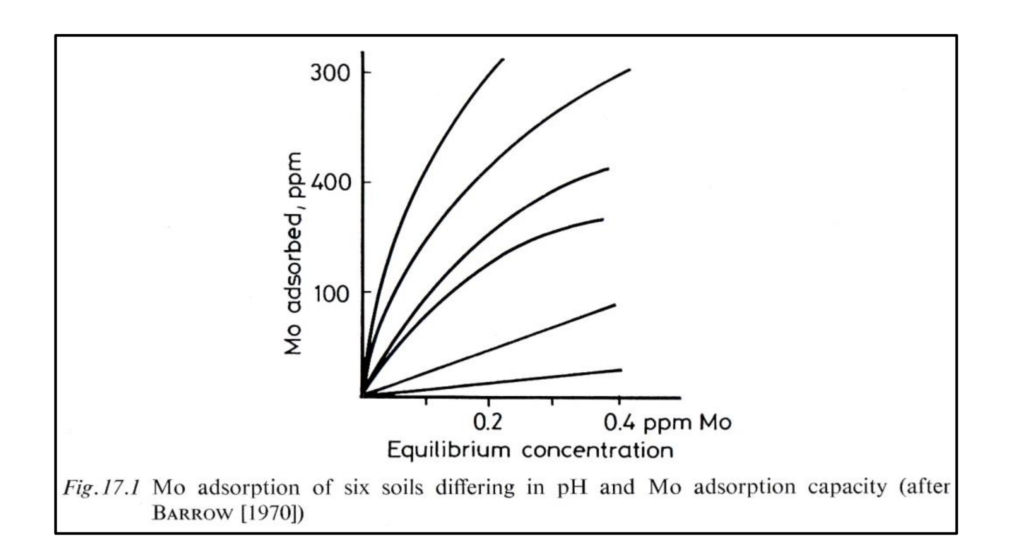


Fig. 17.1 Mo adsorption of six soils differing in pH and Mo adsorption capacity (after BARROW [1970])

اعتماد إدمصاص المولبيدنم على الرقم الهيدروجيني له نتائج عملية، فيمكن التحكم في نقص المولبيدنم بإضافة الجير. إن المولبيدنم المدمص يمكن استبداله بإزاحته بالأنيونات

الأخرى مثل الفوسفات والهيدروكسيل حيث يظهر أن لها خاصة كاتوينات إحلال (Parfitt (1978)).

من الشرح السابق نفهم أن محتوى محلول التربة من المولبيدنم قد يكون متبايناً بدرجة كبيرة. لقد وجد أن تراكيز المولبيدنم تكون حوالي $2.0\times10^{-8} - 8.0\times10^{-8}$ مول (Lavy and Barber (1964)). إن جزء المولبيدنم الموجود في محلول التربة من المولبيدنم الكلي قد يختلف فيما بين الترب، ففي كاليفورنيا مثلاً وجد أن $^{2}/_{3}$ من المولبيدنم الكلي يكون مذاب في الماء في حين يوجد مولبيدنم المدمص على غرويات التربة الموجود في محلول التربة يوجد أيضاً صور غير تبادلية في عدد من تراكيب المعادن مثل كبريتيد المولبيدنم MoS_2 الموجود تحت ظروف اختزال، ومولبيدات الكالسيوم وأكاسيد المولبيدنم المتميأة. إن المولبيدنم قد يوجد مرتبطاً بمعادن أكسيد الحديد المدمصة أو في صور شبه بلورية كما يكون الحال في جزء السسكاأوكسيد في الترب الحامضية ((Reisenauer et al. (1962)) و(Tayler and Giles (1970)). إن في ترب الحديد الحجرية المنخفضة الرقم الهيدروجيني قد يكون المولبيدنم مثبتاً بقوة حيث تظهر أعراض نقص المولبيدنم ((Schlichting (1960)).

إن جزءاً من موليبدنم التربة يوجد في صورة عضوية وبتحليل المادة العضوية يتحول أكثر الأحيان إلى صورة ميسرة. لقد بين Mitchhell (1954) بأنه حتى في الترب الحامضية يمكن أن تمتص النباتات مستويات ملائمة من المولبيدنم عندما تتحلل المادة العضوية وتتحرر كمية كافية من المولبيدنم.

2.17 المولبيدنم في الفسيولوجي Molybdenum in physiology

تمتص النباتات المولبيدنم كمولبيدات والامتصاص يمكن أن ينخفض بتأثيرات تنافس الكبريتات SO^{-2} ((Stout et al. (1951)). ((Reisenauer (1963))، من ناحية أخرى تحفز أيونات الفوسفات امتصاص المولبيدنم في القمم في تجارب قصيرة الأمد ((Stout et al. (1951)) بالرغم بأنه ليس هناك دليل مباشر بأن امتصاص المولبيدنم حيوي نشط فالتفاعلات الأيونية التي وصفت سلفاً تقترح الامتصاص الأيضي للمولبيدنم ((Moore (1972)) والصورة التي ينتقل عليها المولبيدنم غير معروفة، لقد اقترح ((Tiffin (1972)) أن بالإمكان تحرك المولبيدات MoO^{-2}_4 في الخشب على شكل حامض معقد أميني Mo-S أو معقد مولبيدات مع السكريات أو مركبات متعددة الهيدروكس Polyhydroxy حسب ((Hewitt and Agarwala (1952)) بأن المولبيدنم يوجد أساساً في اللحاء والأوعية البرنكمية Parechyme المولبيدنم هو فقط متوسط الحركة في النبات.

إن محتوى مادة النبات من المولبيدنم يكون عادةً منخفضاً وأقل من جزء واحد في المليون في المادة الجافة. بعض النتائج النموذجية لمحتوى المولبيدنم في عدد من أنواع النباتات المبينة في الجدول (1.17) وعموماً فالمحتويات القليلة هي بسبب الانخفاض الشديد في المولبيدات في محلول التربة. بالمقارنة مع المغذيات الصغرى الأخرى فإنه يمكن للنباتات امتصاص المولبيدنم بكميات كبيرة بدون حدوث تأثيرات سمية، على سبيل المثال لقد وجد ((Agarwala and Hewitt (1954)) أن محتويات المادة النباتية من المولبيدنم قد تتفاوت بمعامل 100. إن نباتات القطن المزودة بالمولبيدنم بكميات وفيرة تجمع مستويات منه قد

تصل إلى 1500 جزءاً في المليون في أوراقها (Joham (1953)) وجدت نفس الملاحظة في نباتات الفاصوليا Phaseolus beans (Widdowson (1966)).

Table 17.1 Mo content of different plants in ppm Mo in the dry matter (Johnson [1966])			
Lucerne leaves	0.34	Sugar beet tops	0.72
Phaseolus bean tops	0.40	Tomato leaves healthy	0.68
Spinach leaves	1.60	Tomato leaves deficient	0.13

لوحظت أعراض سمية أحياناً عند إضافة مستويات عالية جداً من الموليبدنم حيث ظهر لون أصفر ذهبي شديد على أوراق الطماطم عندما كان محتوى الموليبدنم في مدى 1000 – 2000 جزء في المليون (Johnson (1966)) إن الاحتياج الفسيولوجي من الموليبدنم منخفض جداً ويكون أقل من جزء واحد في المليون في المادة الجافة (Stout and Meagher (1948)).

إن الموليبدنم هو جزء أساسي في أنزيمين رئيسيين في النباتات وهما النيتروجينيز Nitrogenase وأنزيم اختزال النترات Nitrate redactase والآلية الفعالة لكليهما من المرجح أنها تعتمد على تغير التكافؤ (أنظر 2.3.3). يتكون أنزيم النيتروجينيز من معقدين لبروتين أنزيمي يحتوي الكبير على حديد وموليبدنم بنسبة حوالي 1:9 (أنظر الشكل (26.3)) حسب (Bergersen (1971)) بأن الآلية الأساسية لعملية تثبيت النيتروجين بوساطة أنزيم النيتروجينيز Nitrogenase وأيضاً وظيفة الموليبدنم الداخل في تركيبته متشابهة في البكتيريا الحرة المثبتة للنيتروجين ومشابهة للأحياء الدقيقة المثبتة للنيتروجين التي تعيش متكافلة مع

النباتات الراقية، لقد أثبتت ((Becking (1961) الأهمية الأساسية لموليبدنم اكينتنويسلني Actinomyces alni الخاص بنبات جار الماء Alder (Alnus glutinosa). في غياب الموليبدنم تظهر أعراض نقص النيتروجين على بادرات جار الماء، وعندما أضيف الموليبدنم تم تحفيز امتصاص النيتروجين وتجمع الموليبدنم في العقد الجذرية في موقع تثبيت النيتروجين (أنظر الجدول (2.17) ولقد وجد (Mulder (1948 نتائج مشابهة حيث أن محتوى الموليبدنم في العقد الجذرية للبازلاء Pisum كان 10 أضعاف أعلى مما في الأوراق.

Table 17.2 Mo contents in various plant parts of young alder (Becking [1961])

	Leaves	Stems	Roots	Nodules
	ppm Mo in the dry matter			
No Mo application	0.01	0.14	0.24	2.00
Mo application	0.27	1.89	2.62	17.3

إن أنزيم اختزال النترات Nitrate redactase الأكثر دراسة من الإنزيمات المحتوية على الموليبدنم. لقد تم عزله من قبل ((Evans and Nason (1953) من فول الصويا حيث يساعد في اختزال النترات NO^{-}_3 في الأنسجة وبالتالي نقص في مستويات المركبات الأمينية الذائبة ((Pooingham (1956) كذلك أقترح ((Mulder (1948) بأن الموليبدنم أساسي في عملية الدنترة (Denitrifiction) للأحياء الدقيقة.

إن امتصاص النباتات للموليبدنم في إنتاج وحدة من المادة الجافة يكون أكثر في وجود النترات مما في وجود الأمونيوم ((Giordano et al. (1966). ومن المرجح أن النباتات النامية بكثافة مع استخدام الأمونيوم لا تحتاج للموليبدنم.

لذا فقد بين ((Hewitt and Gandry (1970) أن نباتات القرنبيط تحت ظروف معقمة Sterile وباستعمال النيتروجين في صورة أمونيوم (NH_4-N) بدون موليبدنم لم تظهر أعراض نقص الموليبدنم في حين ظهرت أعراض هذا النقص تحت ظروف غير معقمة. معظم التجارب لمقارنة الصور المختلفة للنيتروجين بالعلاقة مع احتياج الموليبدنم قد أجريت تحت ظروف غير معقمة. من هذا يتبين أن احتياج الموليبدنم للنبات الموضحة في الدراسات المبكرة باستخدام الأمونيوم قد ينتج عنها طلب للموليبدنم لاختزال النترات الممتص بعد عملية نترتة الأمونيوم NH^+_4 في الوسط الغذائي ومن الأهمية التحقق من تكرار نفس النتائج في أنواع النباتات الأخرى ((Hewitt and Gundry (1970).

بم أن وظيفة الموليبدنم في أيض النبات هي في اختزال النترات لذا فإن نقص الموليبدنم يطابق نقص النيتروجين ((Hogstrom and Berger (1965) والأوراق القديمة تصبح مصفرة أولاً. لكن بالمقارنة مع نقص النيتروجين فإن الموت الموضعي تظهر بسرعة على حواف الأوراق بسبب تراكم النترات ((Maynard (1979). إن النباتات التي ينقصها الموليبدنم تكون محددة النمو وأوراقها تصبح شاحبة وأخيراً تذبل ويعوق تكوين الأزهار ((Hewitt et al. (1954).

إن أعراض نقص النيتروجين تشابه نقص الموليبدنم في العائلة البقولية Leguminosae الذي يرتبط فيها نقص الموليبدنم مع تغذية النيتروجين بالتأثير على اختزال النترات وتثبيت النيتروجين. في البرسيم يكون نقص الموليبدنم في أكثر الأحيان غير منتظم مما

يؤدي إلى ظهور بقع متفاوتة الاصفرار مقارنةً بخلفية النباتات الطبيعية ذات اللون الأخضر الغامق.

تظهر أعراض نقص المولبيدنم من المعتاد أولاً في الوسط على الأوراق القديمة وتكون صفراء إلى خضراء مصّفرة وحواف الورقة تلتف على نفسها. تكون الأوراق دائماً صغيرة ومغطاة ببقع وميتة (متنكرزة) Necrosis

قد لوحظت أعراض نقص المولبيدنم معظم الوقت في العائلة الصليبية Cruciferae وخاصةً في القرنبيط. يظهر الاصفرار في الأوراق فيما بين التعرق وتكون الأوراق ضعيفة دائماً وخضراء شاحبة والصفيحة الوسطية لجدار الخلية لا تعد مكتملة التكوين، وهذا يمكن ملاحظته في الطور المبكر جداً من تطور الورقة ((Bussler (1970). في حالة النقص الشديد لا تتكون صفيحة الورقة ويحتمل وجود العرق الرئيسي. هذا المظهر يشبه السوط ولهذا السبب يسمى النقص بالذيل السوطي Whiptail (اللوحة 1.17) تبين مثال نموذجي للذيل السوطي في الفرنبيط. أعراض نقص المولبيدنم في الحمضيات تكون بظهور بقع صفراء على الأوراق.



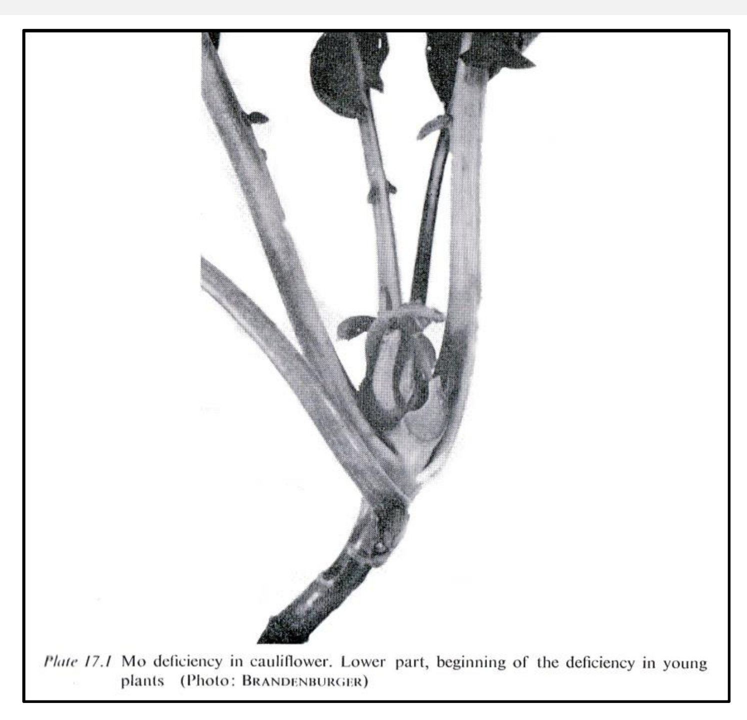


Plate 17.1 Mo deficiency in cauliflower. Lower part, beginning of the deficiency in young plants (Photo: BRANDENBURGER)

3.17 الموليبدنم في تغذية النبات Molybdenum in crop nutrition

معظم الترب تحتوي كميات كافية من الموليبدنم ميسر لسد متطلبات النباتات. في بعض المناطق وخاصةً في الترب الحامضية (الرقم الهيدروجيني< 5.5) يمكن أن توضح نقص الموليبدنم بسبب ارتفاع تثبيت الموليبدنم في التربة. في الولايات المتحدة الأمريكية يظهر نقص الموليبدنم في خرائط الجغرافيا الطبيعية في الترب الرملية الحامضية رغم أن هذا التأثير قد يختفي بالاستعمال العام للجير ((Kubota and Allaway (1972)). تتضح أعراض نقص الموليبدنم غالباً في الترب العالية البدزولية لانخفاض مستوى الموليبدنم الكلي ويكون غير ميسر لانخفاض الرقم الهيدروجيني.

عموماً نلاحظ أعراض نقص المولبيدنم على الترب المشتقة من المادة الكوارتزية Quartzic والطمي الرملي المبتلر Sandy pebbly alluviums والرملية الطفلية Sundy loams وعلى الترب ذات السعة التبادلية الأنيونية العالية ((Chang and quellette (1973)) والترب ذات تراكميات أكسيد الحديد مثل ترب الحجر الجيري في استراليا وهولندا يكون دائماً بها نقص المولبيدنم حيث تثبتهُ بقوة. قد يظهر أحياناً نقص المولبيدنم في ترب الخث Peat وهذا على الأرجح ناتج عن عملية مسك المولبيدنم بوساطة حامض الهيومك غير الذائب في هذه الترب، من المحتمل أن يختزل حامض الهيومك المولبيدات MoO^{-2}_4 إلى المولبيدنم الخماسي التكافؤ Mo^{+5} الذي يصبح مثبتاً على هذا الشكل الكاتيوني ((Szalay and Szilgyi (1968)). في بعض الترب الكلسية الحرة الصرف والمشتقة من السربيتنين Serpentine قد يحدث بدون شك نقص المولبيدنم. على العموم المستوى الحرج لنقص المولبيدنم يكون حوالي 0.1 جزء في المليون ميسر في التربة.

إن نباتات المحاصيل منفردة تختلف بدرجة كبيرة في احتياجاتها للمولبيدنم، فالصليبيات Crucifera وخاصةً القرنبيط والكرنب تحتاج المولبيدنم بكميات كبيرة ونفس الشيء أيضاً على البقوليات بسبب احتياج بكتيريا العقد الجذرية. في مسح لعدد (21) ولاية في أمريكا فقد وجد أن الصفصفة هي أكثر أنواع المحاصيل لظهور أعراض نقص المولبيدنم يتبعه القرنبيط و البروكلي Broccoli وفول الصويا والبرسيم والحمضيات ((Berger (1962)). وعموماً النباتات ذوات الفلقة لا تكون حساسة لنقص المولبيدنم والنباتات التي يكون بها نقص مولبيدنم عادةً تكون مستوياته أقل من 0.2 جزء في المليون في المادة الجافة (Jawen et

(al. (1968). لذا ففي أوراق القرنبيط الذي يعاني من نقص المولبيدنم قد وجد أن محتواه يكون 0.1 جزء في المليون في المادة الجافة ((Massumi (1967) في حين كميته في الأوراق المزودة جيداً بالمولبيدنم يكون حوالي 0.5 – 0.8 جزء في المليون عندما يحدث نقص موليبدنم تحت الظروف الحامضية حيث تمتص النباتات كميات زائدة من المنجنيز Mn^{++} والألمونيوم Al^{+3}، فإن هذا النقص يكون مصحوباً في الغالب بتأثيرات سامة للمنجنيز والألمنيوم ولكن الذيل السوطي لأعراض نقص المولبيدنم في القرنبيط لا يمكن أن تحفز بسمية المنجنيز ((Agarwalw and Hewitt (1954).

في معظم الأحيان تكون إضافة الجير كافية لمنع نقص المولبيدنم. في بعض الحالات فإن إضافة أملاح المولبيدنم يمكن أن يرتفع الإنتاج ومحتوى النبات من المولبيدنم ((Hagstrom and Berger (1965) ويفضل دائماً إضافة المولبيدنم بدلاً من الجير عندما يكون من الضروري زيادة الرقم الهيدروجيني للتربة ومن ناحية أخرى يجب الحذر عند التسميد بالمولبيدنم حيث أن هذا قد ينتج عنه ارتفاع مستويات المولبيدنم في الأعلاف التي تكون سامة للحيوانات. المجترات على الأخص تكون حساسة لارتفاع مستويات المولبيدنم في الأعلاف. إذا كان محتوى المولبيدنم في المادة الجافة حوالي 5 جزء في المليون، فإن هذا المستوى الذي عنده تكون أعشاب المراعي سامة ((Graupw (1973) زيادة المولبيدنم في الغذاء يظهر أنها تتداخل مع الامتصاص الطبيعي للنحاس واستخدامه يؤدي إلى تحفيز نقص النحاس في الحيوانات ((Thomson et al. (1972) وفي بريطانيا يعرف هذا المرض باسم "تيرت" Teart ويحدث في الترب ذات الرقم الهيدروجيني العالي الغني بالمولبيدنم.

كما قد يلاحظ من الجدول (3.17) اختلاف أنواع النباتات في استجابتها لإضافة الموليبدنم. إن معدلات الإضافة العالية يحتمل أن ينتج عنها مستويات سامة من الموليبدنم في البرسيم ((Graupe (1966)) إن الجدول (4.17) يبين الكميات الموصى بها وتكرار الإضافات لعدد من المحاصيل ((Bergmann (1960)) يمكن تصحيح نقص الموليبدنم بإضافة موليبدات الصوديوم وموليبدات الأمونيوم وثلاثي أكسيد الموليبدنم الذئاب وسوبر فوسفات الموليبدنم. في بعض الحالات قد تعالج البذور قبل الزراعة بمحلول 1 % موليبدات أو تعفير Dusting البذور بموليبدات الأمونيوم بمعدل حوالي 100 جرام/هكتار، يوصى أيضاً بإمكانية رش الأوراق بمحلول 0.5 % موليبدات الأمونيوم على الخضراوات. أن مرض نقص الموليبدنم في الحيوانات Molybdosis يرتبط عموماً بالترب العضوية القاعدية والترب الحديثة التكوين من الرماد البركاني تتميز في الولايات المتحدة الأمريكية للمناطق التي بها هذه المشاكل بأنها تحدث في ترب رديئة الصرف متعادلة أو قاعدية مكونة على طين جرانيتي Granitic alluvium في السهول الضيقة المعرضة للفيضانات وفي المنخفضات الرسوبية المكونة على سهول فيضانية ضيقة بها رواسب مائية من الجرانيت ونهيرات صغيرة ذات طبقات رسوبية في الجداول الصغيرة ((Kubota and Allaway (1972)). إن الترب ذات الموليبدنم الكلي أكثر من 100 جزء في المليون تعتبر موضع شك في تسبب المرض.

Table 17.3 Effect of Mo application on the Mo content of various plant species (GRAUPE [1966])

Mo-application rate	None	4 kg Na_2MoO_4/ha
	ppm Mo in the dry matter	
Medicago sativa	0.03	1.58
Trifolium repens	0.02	13.0
Trifolium pratense	0.14	28.6
Lolium multiflorum	0.08	2.19
Bromus mollis	0.03	2.65
Taraxacum officinale	0.31	37.4

Table 17.4 Frequency and rate of Mo application on Mo deficient soils (BERGMANN [1960])

	g Na-molybdate/ha	Frequency
Pastures and fodder plants	150– 200	each 4th to 6th year
Arable crops, vegetables and fruits	150– 200	each year
Cauliflower	500–2000	each year

الفصل الثامن عشر

البورون

1.18 بورون التربة Soil boron

إن المحتوى الكلي للبورون في التربة يتراوح بين 20 إلى 200 جزء في المليون ومعظمه غير ميسر للنباتات والجزء الميسر (المذاب في الماء الساخن) يتراوح بين 0.4 إلى 5 جزء في المليون ((Gupta (1979). يوجد البورون في معادن مختلفة مثل الترمالين Tourmaline (3–4 % بورون) وهو أكثر المعادن أهمية حيث أن البورون قد يحل محل السيليكون في التراكيب الرباعية الأسطح Tetrahedral. البورون الذائب في التربة يتكون أساساً من حامض البوريك $B(OH)_3$، وهذا الحمض لا يتفكك تحت ظروف PH التربة بخلاف كل مغذيات النبات الأساسية الأخرى، فإن البورون يوجد أساساً في محلول التربة في صورة غير متأينة. هذا قد يكون السبب الرئيسي لغسل البورون بسهولة من التربة. لقد بين ((Gupta and Cutcliffe (1978) بأن أكثر من 60 % من البورون المستعمل لم يعوض في الطبقة السطحية لتربة البدزول بعد خمس أشهر من الإضافة مقارنةً بالمناطق الجافة التي يمكن إن فيها البورون بمستويات سامة في الطبقة للتربة السطحية (Kick (1963), Kanwar and Shah singh (1961)).

حسب (Parfitt (1978 فإن حامض البوريك لا يقوم بمهمة معطي البروتون Proton لكن يكون كحامض لويس Lewis acid المُستقبل للهيدروكسي OH^-.

$$B(OH)_3 + H_2O \rightarrow B(OH)^-_4 + H^+$$ ثابت التأين PK = −9.0

ارتفاع قيمة ثابت التأين PK، دلالة على أن تكوين أنيون البورات $B(OH)^-_4$ يكون ذا قيمة ضرورية في المدى الأعلى للرقم الهيدروجيني، بذلك يحدث إدمصاص للبورات المتكونة

بوساطة الأوكسيدات Sesquioxides ومعادن الطين والاليت أكثر فاعلية في الادمصاص البورون من معادن الكاؤلنيت Kaolinites والسمكتيت Smectites. إن اعتماد تكوين أنيون البورات $B(OH)^{-}_{4}$ على الرقم الهيدروجيني وقد يكون السبب وراء زيادة إدمصاص البورون بارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة. هذا التأثير للرقم الهيدروجيني على إدمصاص البورات ويختلف بوضوح عن تأثير الرقم الهيدروجيني على إدمصاص أنواع الأنيونات الأخرى والذي ينخفض بزيادة الرقم الهيدروجيني للتربة. لقد وجد أن أقصى إدمصاص للبورون كان عند الرقم الهيدروجيني 9 ((Hingston et al. (1972) إن إدمصاص البورون هو تبادل اللجند Ligand (أنظر 4.1.2) الذي به الهيدروكسيل OH^{-} المدمص على السطح قد يحل محله البورات $B(OH)^{-}_{4}$. بالإضافة إلى أيونات البورات قد يتفاعل مع هيدروكسيلات السطح مكونة معقد دبول البورات Borate - diol ((Sims and Biuyham (1968).

وبذلك قد يرتبط البورون بالمادة العضوية حيث أن أحماض الكربوكسيل لغرويات الهيومك يمكن أن تتكثف مع حامض البوريك. لقد أقترح ((Russell (1973) أن هذه الرابطة من المحتمل أن تكون أقوى من رابطة أوكسيدات sesquioxcide البورات تحت الظروف الحامضية أو المتعادلة وغرويات الهيومك من المرجح أن تكون المخزن الأساسي للبورون في ترب زراعية كثيرة.

إن ارتفاع إدمصاص البورات بارتفاع الرقم الهيدروجيني في التربة يسبب انخفاض تيسر البورون في الترب المرتفعة الرقم الهيدروجيني والحقيقة أن الإفراط في إضافة الجير يمكن أن

يحفز نقص البورون في النباتات، إن انخفاض معدل غسيل البورون من الترب المتعادلة والقاعدية يكون نتيجة إدمصاص البورون.

$$
\begin{array}{l}
-\mathrm{Si}-\mathrm{OH}\quad \mathrm{HO} \\
\quad\ \ |\qquad\qquad\quad \diagdown \\
\quad\ \ \mathrm{O}\qquad\qquad\ \ \mathrm{B}-\mathrm{OH} \\
\quad\ \ |\qquad\qquad\quad \diagup \\
-\mathrm{Al}-\mathrm{OH}\quad \mathrm{HO}
\end{array}
\rightleftharpoons
\begin{array}{l}
-\mathrm{Si}-\mathrm{O} \\
\quad\ \ |\qquad\ \ \diagdown \\
\quad\ \ \mathrm{O}\qquad\quad \mathrm{B}-\mathrm{OH} + 2\,H_2O \\
\quad\ \ |\qquad\ \ \diagup \\
-\mathrm{Al}-\mathrm{O}
\end{array}
$$

2.18 البورون في الفسيولوجي Boron in physiology

1.2.18 الامتصاص والانتقال

من المحتمل أن تمتص النباتات البورون كحامض بوريك غير مفكك رغم أنه عملية الامتصاص غير مفهومة جيداً. ما زال هناك خلاف عما إذا كان امتصاص البورون سلبي غير نشط Passive أو نشط active.

لقد بين Tanaka (1967) أن جزءاً من البورون المتجمع في جذور عباد الشمس كان ممتص غير نشط مكوناً معقد بورات مع السكريات المتعددة في الفراغ الحر، هذا المقترح كان معتمداً أساساً على الاتحاد العنصري (رزينة) Stoichiometry الذي وجد بين امتصاص البورون وانطلاق أيون الهيدروجين H^+. لقد بين علماء آخرون أن امتصاص البورون هو عملية غير أيضية (Bingham et al. (1970), Oertli (1963)) في إحدى الدراسات عن امتصاص جذور الشعير المقطوعة للبورون بذا فإن Bowen and Nissen (1976) قد

ميزوا أجزاء البورون في الفراغ الحر حيث أن جزءاً كبيراً من البورون الكلي وجد في قاع الفراغ الحر أو مرتبط عكسياً في جدران الخلية كمعقدات بورات متعددة السكريات. حسب هذا البحث فإن هناك جزء من البورون يكون امتصاصهُ تحت تحكم أيضي لكن هذا يمكن فقط الكشف عنه بالتجربة بعد إزالة تجمع البورون العكسي في الفراغ الحر. إن عنصر النشاط محتمل أن يكون هذا الجزء صغيراً نسبياً وبذا فالامتصاص أساساً يتبع جريان الماء خلال الجذور.

يعتبر البورون نسبياً غير متحرك في النباتات وأكثر الأحيان يزداد محتوى البورون من أسفل إلى أعلى أجزاء النبات ((Wilkenson (1957), Cripps (1956)). حسب نتائج ((Micheal et al. (1969)) على التبغ فإن معدل النتح له تأثير كبير على انتقال البورون إلى أعلى النبات الذي يقترح بأن البورون ينتقل أساساً في الخشب وهنا يرجع إلى تجمع البورون في قمم وحواف الورقة ((Jones (1970)).

إن تجمع البورون في بعض الحالات قد يؤدي إلى تأثيرات سامة وبعض أنواع النباتات تتأقلم لإفراز البورون في قطرات خلال عملية الإدماع ((Oertil (1962)). إن حركة البورون بتيار النتح يفسر أيضاً الحقيقة بأن نقص البورون يبدأ دائماً عند نقاط النمو وهذا السلوك مشابهة بما يحدث في نقص الكالسيوم وأيضاً يكون البورون مثل الكالسيوم فهو لا يكون موجوداً إلا في عصارة اللحاء، إن التراكيز العالية من البورون تكون في أجزاء نبات معينة مثل الأسدية والمياسم ومبيض النبات في حين هذه المستويات قد تكون لضعف التراكيز في السيقان. هذه الاختلافات موضحة في نتائج ((Syworotkin (1958)) في

الجدول (1.18) الذي يبين محتوى البورون في أجزاء مختلفة من نبات الخشخاش .Opium poppy

Table 18.1 B content of various plant parts of the opium poppy (SYWOROTKIN [1958])

Plant organ	B, ppm in DM	Plant organ	B, ppm in DM
Capsule of seeds	69	Culm	17
Upper leaves	45	Roots	20
Medium leaves	34	Seeds	21

2.2.18 النمو المريستيمي واستيعاب النقل

Meristematic growth and assimilate transport

إن الميزة العامة في نقص البورون تكون في حدوث اضطراب في نمو الأنسجة المرستيمية سواء كانت في قمم الجذور أو الأجزاء العليا للنبات أو أنسجة الكامبيوم القلب Cambium. لذا فقد بين Gupta (1974) أن الحاجة للتزويد المستمر بالبورون لحفظ النشاط المرستيمي إن سبب هذا الاحتياج للبورون غير معروف حتى الآن لكن لقد تبين أن البورون يكون لبناء قواعد النيتروجين N-bases مثل اليوراسيل Uracil ((Albert (1968) ووجد أن كل من إضافة اليوراسيل وحامض أرومتك Orotic الذي يعتبر مركباً وسيطاً في البناء الحيوي Biosynthesis لليوراسيل قد وجد أنهما يخفضان أعراض نقص البورون ((Birnbaum et al. (1977) وهذا يحتم بقوة اقتراح بأن البورون يرتبط ببناء اليوراسيل. إن اليوراسيل هو عنصر أساسي في الحامض الريبوزو النووي RNA. وإذا كان غائباً فلا يمكن تكوين أي ريبوزوم Ribosomes وبذلك يؤثر في بناء البروتين.

إن بناء حامض الريبوزو النووي وتكوين الريبوز Ribose للبروتينات يكون أكثر العمليات أهمية في الأنسجة المرستيمية، إذا كان هناك اضطراب بسبب نقص البورون فإن عملية نمو خلايا هذه الأنسجة بكاملها تتوقف. هذا التفسير يتفق مع نتائج .Humlt et al (1970) الذي أوضح أن دمج الفوسفات في الحامض النووي أثر على نقص البورون في عباد الشمس كان نتيجة أساسية أخرى سببها نقص اليوراسيل Uracil إن قاعدة النيتروجين هذه تدخل أيضاً كمادة تسبق تكوين جلوكوز البوريدين ثنائي الفوسفات Uridine diphosphate glucose (UDPG) الذي يكون الأنزيم للمساعدة في تكوين السكروز Sacrose وهي أهم صورة لنقل السكر (أنظر 5.3.4). وعند حدوث تثبيط في بناء هذا السكر فإن نقل نواتج البناء تتأثر. وهذا ما قد حدث بالضبط في النباتات التي لوحظ فيها نقص البورون، إن نواتج التمثيل الكالوز (Callose) المتكونة في الأوراق تكون رديئة في النقل إلى أجزاء النبات الأخرى، بالإضافة فإن نقص البورون ينتج عنه تحفيز إنتاج الصلابة مكونة سدادات والتي من المرجح أن تقف فتحات الصفائح الغربالية (Van den venter and Currier (1977)). ولم يتضح بعد ما إذا كان لهذا العلاقة بعملية تثبيط بناء السكر أم لا.

بهذا فإن انسداد فتحات الصفائح الغربالية له تأثير ضار على النقل في اللحاء. لقد اقترح (Pollard et al. (1977)) بأن للبورون تأثيراً مباشر على حث تكيف ونشاط مكونات معينة لغشاء الخلية وبهذا تدعمه ملاحظات عند حدوث استعادة سريعة لعملية الأيض المرتبطة بانتقال الأيون عندما أضيف البورون للجذور التي تعاني نقصاً في البورون،

واشترك مع حدوث استعادة النشاط أنزيم الادونزين ثلاثي الفوسفات المحفز للبوتاسيوم المرتبط بالغشاء ((Clarkson and Hanson (1980). لقد اقترح ((Pollarel et al. (1977) أن الآلية الممكنة لتنظيم الغشاء بالبورون تكون بتفاعل البورون مع المركبات المتعددة الهيدروكس Polyhydroxy وبذلك تؤثر في نشاط وأكتمال الغشاء ((Gupta (1979).

Table 18.2 Influence of B on DNA phosphate, RNA phosphate and protein of sunflower plants, suffering from moderate B deficiency (HUNDT *et al.* [1970])

B in the nutrient solution, ppm	Leaves	Roots
DNA phosphate in % of total phosphate		
0	0.2	0.5
1	1.4	1.8
RNA phosphate in % of total phosphate		
0	1.4	3.6
1	6.4	13.0
Protein N mg/pot		
0	627	713
1	1267	1468

3.2.18 الأحماض النووية و الهرمونات النباتية

Nucleic auds and phytohormones

لقد وجد أن أول أعراض نقص البورون في جذور الطماطم هو نقص محتوى حامض الريبوز النووي RNA يتوقف النمو ((Johanson albert (1967). يمكن تجنب تأثير النقص بإضافة قواعد Thymine بالجوانين Guaning والسيتوسين Cytosine ومن هذا استنتج أن البورون يلعب دوراً هاماً في استخدام قواعد النيتروجين وتحفيز عمليات أيض حامض RNA، إن ارتباط البورون بتمثيل هذا الحامض قد تم توضيحه باستخدام الفسفور

النظير P-32 وقد بين أن نقص البورون يخفض بدرجة كبيرة معدل دمج الفسفور في النواة (الشكل (1.18)) ((Roberson and Loughman (1974)). إن التأثير الضار لنقص البورون على أيض الحامض النووي وبناء البروتين وهذا يتضح جيداً من نتائج دراسة ((Hundt et al. (1970) عن أيض النيتروجين في عباد الشمس وعلاقته بإضافة البورون ففي النباتات ذات التزويد الضعيف بالبورون يتراكم النترات في الجذور والسيقان والأوراق وهذا يوضح توقف عمليات اختزال النترات وبناء الأحماض الأمينية، وعندما أعيد تزويد النباتات التي تعاني نقصاً متوسطاً من البورون بمستويات منخفضة من البورون حدثت استجابة سريعة لامتصاص الفسفور — 32 ودمجه في الأحماض النووية DNA , RNA وحفز بناء البروتين (الجدول (2.18)) لقد رجح جيداً دور البورون والمغذيات النباتية الأخرى في بناء البروتين ففي بحث قدمه (1975) Amberger.

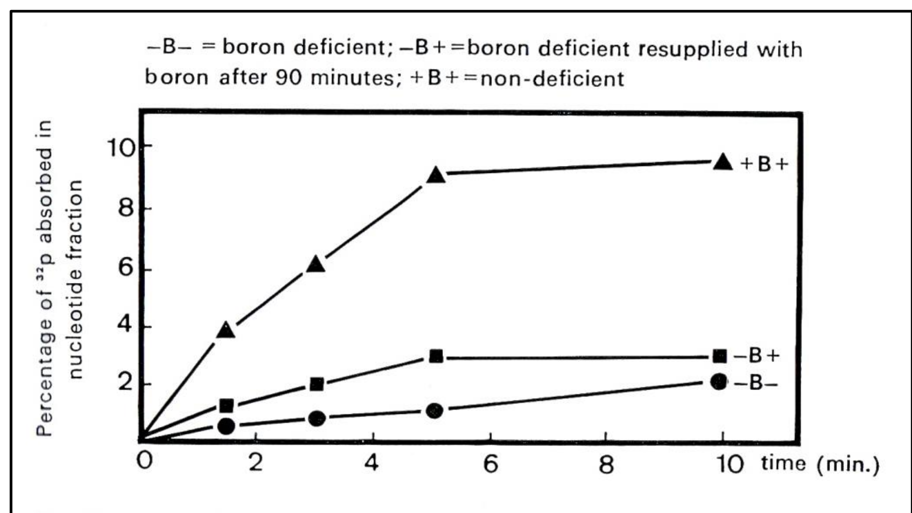


Fig. 18.1 Incorporation of absorbed phosphate into the nucleotide fraction in relation to the level of B nutrition (after ROBERTSON and LOUGHMAN [1974]).

إن نقص البورون يخفض تكوين السيتوكينين ((Wagner and Micheal (1971)). من ناحية أخرى فهناك دليل جيد في المراجع بأن الأكسينات Auxins تتراكم في الأنسجة التي تعاني نقص البورون. لقد اقترح ((Coke and Whittington (1968)) بأن التنكرز Necrosis في نقاط النمو للنباتات التي تعاني من نقص البورون يكون بسبب عملية تراكم الأوكسين مع الإبقاء على وجهة النظر بأن البورون يحمس نظام أنزيم أكسدة أندول حامض الأستيك IAA oxidase وذلك بتكوين معقدات مع مثبطات أنزيم أكسدة اندول حامض الأستيك IAA oxidase . لقد أقترح ((Crisp et al. (1976)) بأن بالإمكان وجود علاقة بين نقص البورون وأيض الأوكسين Auxin. حيث لوحظ في البداية تنكرز في الخس Lettuce. يعرف بحرق القمة "Tipburn" مؤقت ومرتبط بنقص البورون الواضح مع زيادة نشاط الأوكسين . لقد بين (Shkolink (1974 في مراجعة دور البورون في النباتات وأقترح بأن التراكم المفرط في الأوكسينات والفينولات Phenols يكون السبب الأساسي للتنكرز في النباتات التي تعاني من نقص البورون وقد نوقشت من قبل ((Price et al. (1972)) الأدوار الممكنة للبورون في أيض الأوكسيد وبناء البروتين واستخدام الفوسفات، إن مقدرة البورون لتكوين المركبات متعددة الهيدروكس Polyhydroxy تجعل دراسته الكيموحيوية معقدة وصعبة. هناك دراسة مهمة أخرى تبين بأن البورون ليس ضرورياً للحيوانات والفطريات وبعض الطحالب ((Dear and Arnoff (1968)) وربما يعطي دليلاً على ضرورته للنباتات الراقية.

4.2.18 نقص البورون Boron deficiency

يظهر نقص البورون أولاً على شكل نمو غير طبيعي تثبيط للقمم النامية وتكون الأوراق الحديثة مشوهة ومجعدة أكثر الأحيان وتكون سميكة ولونها أخضر مزرق داكن. قد يظهر اصفرار غير منتظم بين العروق وتصبح الأوراق والسيقان هشة وهذا يدل على اضطراب عملية النتح. كلما تقدم النقص تموت النموات الطرفية ويتقزم النبات بالأزهار وتكوين الثمار. نموذج لأعراض موت نقاط النموات الطرفية لنبات الطماطم نتيجة نقص البورون نجدها موضحة في (اللوحة 1.18) ((Brown (1979) حيث وجد أن نقص البورون يرتبط بزيادة في نشاط الأنزيم أكسدة الاسكوربيت Ascorbate oxidase في الأوراق، إن الصنفين من الطماطم المستخدمين في البحث كان مختلفين في حساسيتهما لنقص البورون ((Brown (1979) ويلعب البورون دوراً رئيسياً في نمو أنابيب اللقاح لذا فالنباتات المزودة بكميات غير كافية من البورون تسبب اضطراباً في نمو حبوب اللقاح وتثبيط تكوين الثمار وينتج عن هذا التأثير تكون ثمار عذرية بدون إخصاب Parthenogenesis ذات حجم صغير وهذا يكون صحيحاً في العنب حيث يمكن أن ينتج محل الثمار بدون اللقاح Parthenogenic fruits وهذه الثمار تكون صغيرة جداً وذات جودة رديئة ((Gartel (1974) (اللوحة 1.18) تبين عناقيد عنب ناضجة من نبات يعاني من نقص البورون، إن نقص البورون يؤثر أيضاً على تطور الجذور، وينعدم نمو الجذور في المحاليل الغذائية الخالية من البورون ((Bussler (1960) تظهر الجذور لزجة وتكون سميكة وتموت القمم.

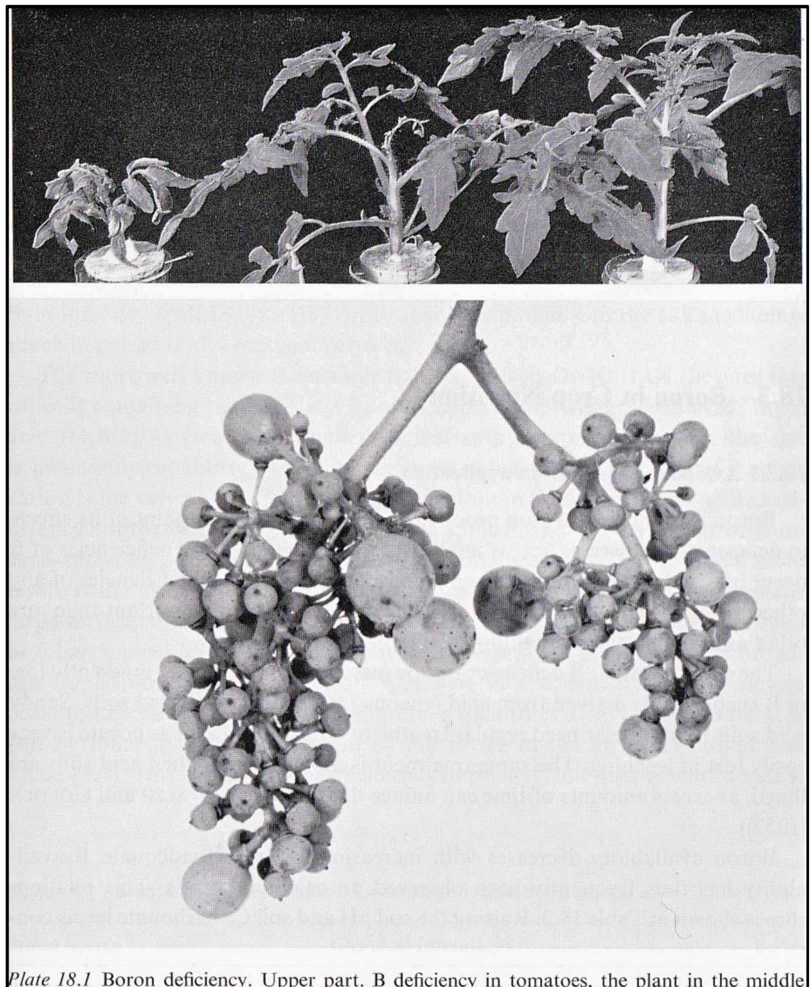


Plate 18.1 Boron deficiency. Upper part. B deficiency in tomatoes, the plant in the middle showing typical symptoms at the growing point. (Photo: BROWN). Lower part: Grape bunch with B deficient fruits (Photo: GÄRTEL).

إن أعراض نقص البورون الأكثر معرفة هي عفن التاج والقلب في بنجر السكر حيث تبدأ بتغيرات تشريحية في نقاط القمم النامية وتكون الأوراق الحديثة التكوين متجعدة

ومتفرقة وتتحول إلى اللون البني أو الداكن وأخيراً تتأثر الأوراق الداخلية وتموت نقاط النمو الرئيسية وتكون الأوراق القديمة خشنة وصفراء.

إن تاج البنجر يبدأ في التعفن بعد ذلك يصاب في النبات بالتعفن كما يتوقع أن الجزء السليم للبنجر يكون منخفضاً في السكر، ونقص البورون في اللفت والرتياج Swedes يجعل الجذور مثل الزجاج مجوفة ومشققة، إن مظهر الساق المنكسر في الكرافس Celery دليل على نقص البورون. إن ظهور أسطح حرشفية وتكوين مادة شبه فلينية داخلياً وخارجياً هي نموذج مميز ومرتبط بنقص البورون في عدة نباتات من ضمنها الطماطم والقرنبيط والحمضيات والتفاح، إن أعراض النقص بظهور نموذج مادة شبه فلينية من الممكن أن يكون ذو علاقة بارتباط البورون مع المواد البكتينية في جدران الخلية، بهذا فإن البورون والكالسيوم لهما توافق في نفس المميزات عند حالات النقص، مرارة القلب التي تحدث عند نقص الكالسيوم في التفاح يمكن في بعض الأحيان تخفيفها بفاعلية برش البورون خاصةً عند مرحلة الإزهار ((Dunlap and Thompson (1959) في بحث قيم قدمه ((Gupta (1979) وصف لأعراض نقص البورون لمعظم المحاصيل الهامة.

3.18 البورون في تغذية النبات Boron in Crop Nutrition

1.3.18 تيسر وإضافة البورون Availability and Boron Application

إن للبورون أهمية في إنتاج المحاصيل من ناحية تأثير النقص والزيادة حسب Reisenauer wt al. (1973) بأن نقص البورون يحدث في محاصيل مختلفة. وتحت ظروف

مناخية بخلاف نقص العناصر الصغرى الغذائية الأخرى من المحتمل أن يكون البورون أكثر من العناصر الأخرى أهمية من حيث الحصول على إنتاج عالي الجودة.

إن الترب التي يحدث بها نقص البورون هي تلك التي تكونت من مادة أصل تركيز البورون فيها منخفض من الأصل مثل الترب المشتقة من الصخور النارية Igneous الحمضية والترب البدزولية وإن الترب الرملية الحامضية على الأخص تحتاج إلى معاملة منتظمة بأسمدة البورون حيث أن Borate تفقد بسهولة بالغسيل.

عندما يضاف الجير للترب الحامضية فإنها تحتاج نفس المعاملة من إضافة أسمدة البورون حيث الزيادة في كميات الجير يحفز نقص البورون ((Walsh and Golden (1952).

إن تيسر البورون ينخفض مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة وقد وجد أن تيسر البورون قد لا يكون كافياً كما لوحظ في الترب الكلسية وهذه العلاقة نجدها موضحة في الجدول (3.18) إن رفع الرقم الهيدروجيني للتربة وزيادة مستوى كربونات الكالسيوم في التربة بدرجة كبيرة يؤدي إلى نقص البورون في بنجر السكر ((Scheffer and Wette (1955) كذلك فإن ارتفاع محتوى التربة من الطين يعيق تيسر البورون وربما هذا بسبب إدمصاص البورات. عن امتصاص النباتات للبورون ذو علاقة وثيقة باستخلاص بورون التربة الذائب في الماء الساخن حيث أنه عندما يكون مستوى البورون الذائب في الماء 1 جزء من المليون فإن التربة لا يكون فيها بورون كافٍ لنمو النبات لكن عندما تكون هذه القيمة أكثر من 5 أجزاء في المليون فقد يكون هذا المستوى ساماً ((Reisenauer et al. (1973) فهناك مراجعة للطرف المستعمل لتمديد تيسر البورون في الترب قد نشرها Farrar (1975).

Table 18.3 Effect of soil pH and carbonate on the proportion of sugar beet infected by crown and heart rot (data of SCHEFFER and WELTE [1955])

pH	Carbonate, %	Percentage of sugar beet		
		Healthy	Infected	Dead
6.7	0.1	100	0	0
7.0	0.1	99	1.0	0
7.5	0.3	46	40	14
8.1	14.4	0	25	75

إن تيسر البورون يكون أيضاً ذا علاقة بالظروف الموسمية المناخية حيث يظهر نقص البورون في الصيف الجاف بعد شتاء أو ربيع رطب. والتأثير يكون خصوصاً عند ظروف النمو الجيدة في الربيع المتبوعة بفترة طويلة من الجفاف ((Batey (1974) ويحتمل أن حركة البورون في وسط التربة تُـعَـوَّق كثيراً في فترات الجفاف الموسمية.

إن أكثر سماد البورون معروف جداً هو البوراكس Borax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) إلى جانب هذا هناك مواد تحتوي على البورون مثل البورات السوبرفوسفات Borated super phosphate تستعمل كسماد وحامض البوريك (H_3BO_3) الذي يضاف أكثر الأحيان بطريقة رش الأوراق خاصةً عندما تكون التربة ذات إمكانية قوية لتثبيت كميات كبيرة من البورون. إحدى مشاكل إضافة البورون تكون النطاق الضيق جداً للتراكيز في التربة التي لا توجد في حالة نقص ولا تميز على أنها سمية إذا أضيف البورون بكثرة بطريقة موزعة بغير نظام فقد يسبب ضرراً للمحصول. إن الطريقة الوحيدة لتجنب زيادة مستويات البورون تكون باستخدام زجاج سيليكات البورون Boron-silicate glassfrites التي تكون قشرة زجاجية مع سطح كبير المساحة تزود محلول التربة عن طريق التحرر للبورون البطيء.

إن إضافة البورون بطريقة الخطوط أو الرش تكون في معظم الأحوال أكثر فعالية لتصحيح نقص البورون من إضافة البورون بالنثر لقد استطاع ((Foroughi et al. (1973) التحكم في نقص البورون في البرتقال المر بإضافة البوراكس للتربة بكميات تتراوح بين 50 إلى 200 جرام بورون للشجرة وبرش الأوراق بالبورون بمعدل 15 – 60 مليجرام بورون للشجرة في صورة يولوبر Solobur (أنظر الجدول (4.18)) هنا التصحيح لنقص البورون قد حسن جودة الفاكهة بدرجة كبيرة.

Table 18.4 B-fertilizers, their chemical formulae and their B content (after GUPTA 1979)

Boron source	Chemical formula	B (%)
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11
Boric acid	H_3BO_3	17
Boron frits (contained in a moderately soluble glass)	$Na_2B_4 \cdot XH_2O$	10–17
Sodium tetraborate		
Borate-46, Agribor, Tronabor	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	14
Borate-65	$Na_2B_4O_7$	20
Sodium pentaborate	$Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$	18
Solubor (partially dehydrated)	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O + Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$	20–21

إن معدل تسميد بنجر السكر يكون بين 10 – 20 كيلوجرام بورون / هكتار (حوالي 10 — 20 بوركس / هكتار) واحتياج اللفت أعلى من ذلك وأكثر الأحيان يعامل بمعدلات أعلى وبسبب خطورة سمية البورون فلا يجب الإفراط بإضافة كميات كبيرة من البورون. على العموم فإن محاصيل الدورة الزراعية هي فقط التي تحتاج إلى كميات كبيرة من البورون، بالنسبة للمحاصيل الزراعية الأخرى فيضاف البورون عادةً لبنجر السكر.

إن الكميات التي تمتصها المحاصيل من البورون خلال الموسم تكون منخفضة وتقدر هذه الكمية لبنجر السكر بحوالي 350–400 جرام بورون/هكتار ((Henkens (1965)). بهذا فعموماً معدلات الإضافة تكون أعلى عدة مرات من امتصاص المحصول وإن أكثر أسمدة البورون أهمية موضحة في (الجدول 4.18).

2.3.18 احتياج المحصول Crop requirement

تختلف المحاصيل في حساسيتها للبورون وقد وجد أن أكثر المحاصيل حساسية بنجر السكر وبنجر الماشية Mangele والكرفس وهناك كذلك محاصيل أخرى تحتاج كميات كبيرة من البورون مثل محاصيل الكرنب والقرنبيط واللفت والكرنب المسوق Brussels sprouts أن أشجار الفاكهة خاصةً التفاح والأجاص معروفة بحساسيتها لنقص البورون ((Bradford (1966)) لقد وجد Gartel (1974) أن نقص البورون في العنب هو أحد الأمراض غير الطفيلية الأكثر خطراً على نمو الكروم حيث يتعرقل تكوين الثمار (أنظر 4.2.18) وينخفض الإنتاج بنسبة 80% مقارنةً بالنباتات المزودة بكمية كافية من البورون.

بعض البقوليات تحتاج كميات عالية من البورون ولقد وجد ((Ouellette and Lachance (1954)) في كندا مساحات مزروعة بالصفصفة تعاني من نقص البورون لدرجة ذات علاقة سلبية مع مستوى البورون في النبات وأن البورون عندما يكون أقل من 15جزء في المليون فهذا يدل على تزويد غير كافٍ من البورون. هذه القيمة مشابهة بالمستوى الحرج للبورون في المادة الجافة ويتراوح بين 10 إلى 25 جزء في المليون لنفس

النبات ((Martin and Matocha (1973) أن المحتوى الحرج للبورون في أوراق بنجر السكر تكون عند نفس المدى في الصفصفة والأوراق التي لا تعاني من النقص كان محتواها حوالي 35–200 جزء في المليون بورون في المادة الجافة ((Ulrich and Hius (1973) لقد وجد Gartel (1974) أن مياسم Stigmae العنب المزود جيداً بالبورون يحتوي على 50 – 60 جزءاً في المليون بورون في المادة الجافة مقارنةً بحوالي 8–20 جزء في المليون في مياسم العنب الذي يعاني من النقص وأن عملية التلقيح تكون معاقة.

في العموم تحتاج نباتات ذوات الفلقتين إلى كميات عالية من البورون وبذلك يكون محتواها منه مرتفعاً عن النباتات ذوات الفلقة (1941) Shive ولهذا السبب فإن نقص البورون في محاصيل الحبوب يكون أقل انتشاراً لقد قارن ((Syworotkin (1958) بين ثلاث مجموعات نباتية من حيث محتواها واحتياجها من البورون وهي نباتات ذوات الفلقة وذوات الفلقتين وأنواع ذوات الفلقتين ذات النظام اللبني Latex system مثل الهندباء البرية Dandelion والخشخاش وبعض من نباتات العائلة الفربونية Euphorbiaceae (من النباتات اللبنية) وضحت هذه المقارنة بوساطة النسبة في النسيج وهو النسيج المثالي الذي يحتاج إلى البورون لهذه المجموعات الثلاث من الأنواع النباتية، فلقد احتوت ذوات الفلقتين كميات كبيرة في القلب Cambium (الكامبيون) وفي النموات المرستيمية بينما في النباتات الفربونية Eupgorbia فإنه يوجد بالإضافة لذلك النظام اللبني تحتاج إلى البورون وهذه الاختلافات تعكس متوسط محتوى البورون للمجموعات الثلاث من النباتات (انظر الجدول 5.18).

Table 18.5 Boron content of various plant groups (SYWOROTKIN [1958]), (B in ppm DM)

Monocots		Dicots		Dicots with a latex system	
Barley	2.3	Peas	22	Dandelion	80
Wheat	3.3	Beets	49	*Euphorbia*	93
Maize	5.0	Lettuce	70	Poppy	94

3.3.18 سمية البورون Boron toxicity

بما أن البورون يعتبر ساماً لأنواع كثيرة من النباتات عند مستويات أعلى قليلاً من احتياجاتها للنمو الطبيعي فتأثير السمية قد يظهر باستخدام كميات زائدة من أسمدة البورون أو في الترب ذات المحتوى العالي من البورون مثل تلك المشتقة من الرسوبيات البحرية ولكن عادةً السمية ترتبط أكثر بالمناطق الجافة وشبه الجافة حيث مستويات البورون عالية بالتربة وأن وضعية البورون في مياه الري تكون على الأخص ذات أهمية في هذه المناطق ومن ملاحظات ((Reisenauer et al. (1973) في محطة التجارب الزراعية الإرشادية في جامعة كاليفورنيا عام 1969 بأن عند جزء واحد في المليون بورون بالمياه قد تظهر المحاصيل الحساسة أضرار واضحة وعن 10 جزء في المليون ربما تتأثر حتى المحاصيل المقاومة. حسب ((Reisenaur et al. (1973) بأن سمية البورون في المحاصيل تحدث تقريباً عندما يتعدى البورون الذائب في المياه الساخنة في التربة 5 جزء في المليون في حين مستويات البورون في التربة الأقل من جزء واحد في المليون لا تكون عالية بدرجة كافية لنمو النباتات الأمثل. إن سمية البورون يمكن أن يسببها التلوث الصناعي ((Judel (1977) لقد وجد أن أنواع أشجار الصنوبر على الأخص تأثرت والأوراق الإبرية الملوثة لأنواع الصنوبر النرويجي Picea تحتوي

على البورون عالٍ يصل إلى 960 جزءاً في المليون في المادة الجافة. إن محتوى الأعشاب بين أعراض سمية حادة عند 270–570 جزءاً في المليون بورون إن تلوث الترب بالبورون يمكن أن يعالج بمياه الري الخالية من البورون، إن تيسر البورون وامتصاص كميات زائدة يمكن أيضاً خفضها بإضافة الجير ((Judel (1979).

بعض المحاصيل الأكثر حساسية لسمية البورون هو الخوخ والعنب والفاصوليا والتين والنباتات المتوسطة المقاومة تتضمن الشعير والبازلاء والذرة والبطاطس والصفصفة والتبغ والطماطم في حين المحاصيل الأكثر تحملاً هي اللفت وبنجر السكر والقطن. إن تأثير سمية البورون تنتج اصفرار النهايات الأوراق يتبعها تنكرزاً.

وهذا يبدأ عند النهايات والحواف وأخيراً ينتشر بين التعرقات الجانبية في اتجاه العرق الأوسط وتظهر الأوراق بشكل محروق وتسقط قبل اكتمال نموها. لقد تم وصف هذه التأثيرات بالتفصيل لعدد من أنواع النباتات بوساطة ((Bradford (1966).

الفصل التاسع عشر

عناصر أخرى ذات أهمية

في الفصول السابقة كل العناصر التي أخذت في الاعتبار ما عدا الصوديوم ضرورية للنبات حيث أن بدون أحد هذه العناصر الضرورية لا يستطيع النبات إكمال دورة حياته، كل هذه العناصر تلعب دوراً هاماً في عمليات أيض النبات على الرغم من أن حالات بعض المغذيات الصغرى لم يحده قطعياً بعد دورها الضروري.

بالإضافة إلى هذه المغذيات فهناك مجموعة من العناصر التي قد يكون تأثيرها إيجابي على نمو النبات ومثال على ذلك السليكون والكوبلت، حيث تحت ظروف معينة يحفزان نمو النبات ويكونان ضروريان لبعض أنواع النباتات. في هذا الفصل قد ضمن الكلور كعنصر ضروري.

1.19 الكلور Chlorine

يتوزع الكلور في الطبيعة على نطاق واسع وقابل لإعادة دورته بسرعة، الكلوريد في التربة لا يوجد مدمص بوساطة المعادن ويكون أحد أكثر الأيونات حركة ويفقد بالغسيل بسهولة تحت ظروف الصرف الحر.

يمكن وجود تراكم للكلور في كثير من الحالات كالترب ذات الكلور العالي وتتضمن تلك المتأثرة بمياه البحر أو المحاطة بمياه ري ذات محتوى عال من الكلور في الترب الرديئة الصرف المستقبلة لمياه الجريان من مناطق أخرى والترب ذات الغسيل الخفيف يمكن أن تحتوي على تراكيز عالية من الكلور.

معظم أنواع النباتات تمتص الكلور بسرعة وبكميات كبيرة ومعدل الامتصاص يعتمد أساساً على تركيزه في المحلول المغذي أو في محلول التربة (Schmaltuss and Keinicke

(1960)) هناك دليل قاطع بأن الامتصاص منظم أيضياً. امتصاص الكلور يكون حساس للتباين في درجات الحرارة ومثبطات الأيض، ((Elzam and Epstein (1965) وحسب ((Gerson and Poole (1972) فإن الامتصاص يحدث ضد الانحدار الكهروكيميائي Electrochemical gradient. عند حركة الكلور في أنسجة النبات تكون صفائح البلازم Plasma - lemma، نفاذة إلى حد ما، عندما تكون تراكيز الكلور عالية في الوسط الخارجي فإن التونوبلاست Tonoplast وليس صفائح البلازما تصبح الحاجز المحد لحركة الكلور ((Cram (1973). لذا فيمكن أن يتجمع الكلوريد في السيتوبلازم Cytoplasm تحت ظروف الامتصاص العالي، عند انتقال الكلوريد خلال القشرة Cortex إلى الأسطوانة المركزية فهناك دليل بأن ممر السيمبلستك Symplastic pathway يمثل الطريق الرئيسي للمرور خلاله ((Stelzer et al. (1975) في الأنسجة الخضراء ويحفز امتصاص الكلور بالإضاءة ((Barber (1968)) (Macdonald et al (1975)) حيث تكوين الادونزين ثلاثي الفوسفاتATP من عملية الفسفرة خلال تمثيل البناء الضوئي مجهزاً بذلك يعطي مصدراً للطاقة اللازمة في الامتصاص الحيوي. إن التأثيرات المنافسة في الامتصاص بين الكلور والنترات والكلور والكبريتات هي معروفة جداً في البحوث ((Dewit et al. (1963) إن هذا التنافس قد يؤثر على جودة المحصول عملياً ففي البطاطس على سبيل المثال تبين أن إضافة الكلور حفض المحتوى الكلي للنيتروجين والنترات في القمم رغم أن نيتروجين البروتين لم يتأثر ((Murake et al. (1973). إن الكلوريد لا تمتصه الجذور فقط بل تمتصه أجزاء النبات الهوائية (فوق الأرض) على شكل كلوريد أو غاز كلور((Johnson et al. (1957. إن كميات

الكلور في الهواء الجوي في مياه المطر تكون متأثر جداً بالمسافة عن البحر حيث تزداد كميات الكلور بقرب هذه المساحة.

لقد ثبت الآن أن الكلور ضروري للنباتات الراقية فالاحتياجات الفسيولوجية تكون ضئيلة جداً وهي تصل إلى قليل من الجزء من المليون بمقارنة معظم النباتات فإن المحتوى من الكلور كان معدله يتراوح بين 2 إلى 20 مليجرام كلور في الجرام المادة الجافة لكن قد تكون تراكيز الكلور أعلى بكثير خاصةً في النباتات الملحية Halophytes. إن وظيفة الكلور في النباتات مازالت غير واضحة جيداً، ويبين عدد من الباحثين بأن العزل في الكلوروبلاستات المعزولة يكون الكلور ضرورياً بل كعامل مساعد في عملية التمثيل الضوئي. هذه التجارب خارج النبات الحي قد حلت على أن هناك حاجة للكلور في انطلاق أكسجين التمثيل الضوئي في النظام الضوئي الثنائي Photo system II ((Bove et al. (1963) و ((Kelly and Izawa (1978) دور الكلور في النباتات السليمة كان محيراً للباحث (Terry (1977)) الذي يبين أنه حتى عندما انخفض النمو بنسبة 60 % في أوراق بنجر السكر التي تعاني من نقص الكلور فإن امتصاص ثاني أكسيد الكربون لا يتأثر سواء في قاعدة مساحة الورقة أو في الكلوروفيل.

إلى جانب إمكانية دور الكلور في عملية التمثيل الضوئي فقد يؤدي وظائف أخرى في النباتات وهذا له علاقة بحركة الكلور العالية وإن هناك مقاومة لأيون الكلور بمدى تركيز واسع، إن الكلوريد قد يعادل أيون البوتاسيوم السريع التدفق ويساهم في انتفاخ الخلية Turgor فيما يتعلق بهذا يحل الكلور Cl محل النترات NO_3^- الذي يكون أيضاً أيون متحركاً

أو يعمل مكان الماليت Malate (أنظر 8.1.3) لقد لفت (Clarkson and Hanson (1980)) النظر بان فاعلية فقد النشاط الكيموحيوي للكلور يجعله يسد الضغط الأزموزي وأدوار معادلة الكاتيون التي يكون لها نتائج كيموحيوية وكيموفيزيائية ذات أهمية.

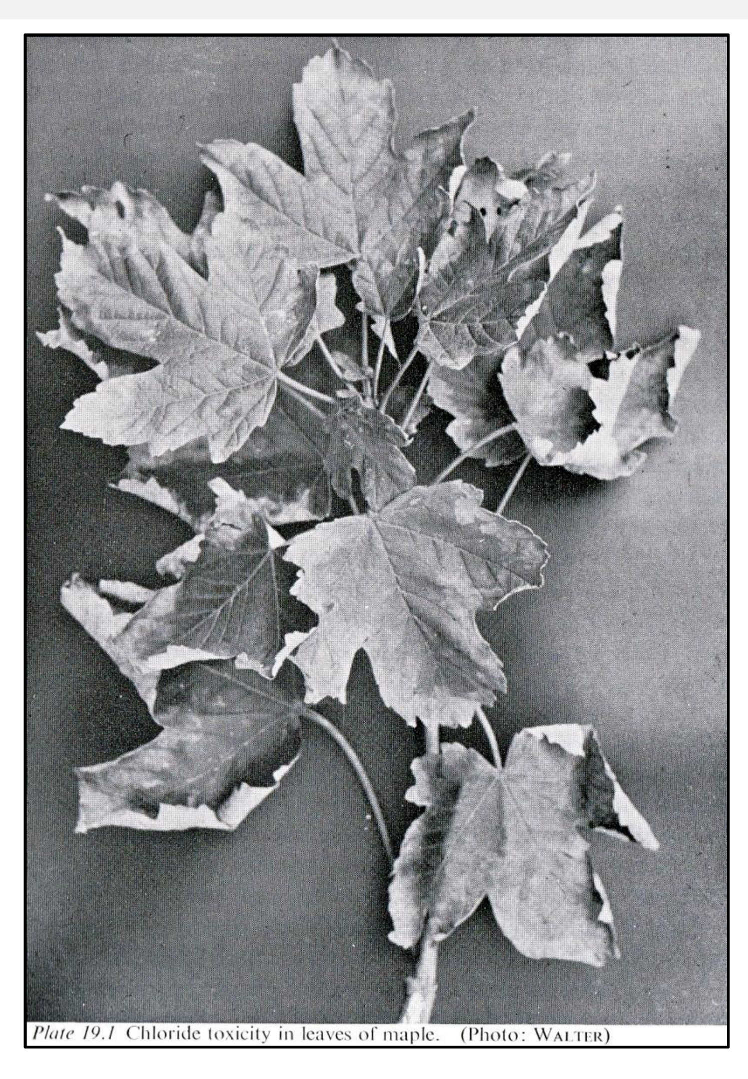
هناك عدد من المركبات العضوية المكلورة موجودة في النباتات لكن يعتقد أنها غير ذات أهمية كبيرة في عملية الأيض ((Miller and Flemion (1973)) إن النباتات التي تمتص كميات كبيرة من الكلور تكون دائماً ذات محتوى مائي عال طالما أن للكلور أهمية أزموزية.

إن أعراض نقص الكلور لاحظها عدد من الباحثين مستعملين محاصيل مختلفة ((Broyeet al. (1954)) ((Ulrich and Ohki (1956)) إن الذبول هو الصفة العامة ويظهر أن النتح يكون متأثراً والنباتات تكون دائماً مصفرّة ويحدث انخفاض في نمو أوراق بنجر السكر بسبب انخفاض معدل انقسام الخلية وتنخفض مساحة الورقة وتكون صفراء جزئياً حسب Johnson et al. (1957) فإن مستوى الكلور الحرج للنقص في النباتات غير الملحية يكون حوالي 70 – 100 جزء في المليون في المادة الجافة.

إن محتوى التربة من الكلور يعتبر منخفضاً عندما يكون أقل من 2جزء في المليون James et al. (1970) إنه من النادر ظهور نقص الكلور عملياً وذلك بسبب وجوده في الجو أو في مياه الأمطار الذي يكون أكثر من كاف لاحتياجات المحاصيل التي تكون حوالي 4 – 10 كيلوجرام / هكتار / السنة Reisenauer et al. (1973) في الحقيقة حتى تحت الظروف المعملية فإن من الصعب تحفيز نقص الكلور بسبب تلوث الهواء Johnson et al. (1957) إن تأثر زيادة الكلور على النباتات يكون مشكلة أكثر خطورة والمحاصيل التي تنمو

على ترب متأثرة بالأملاح تبين دائماً أعراض سمية الكلور وهذه الأعراض تشمل حرق نهايات أو حواف الأوراق وظهور اللون البرونزي واللون الأصفر قبل اكتمال النمو ثم تسقط الأوراق ((Eaton (1966)) إن المثال على سمية الكلور على نبات القيقب Maple نجده مبينة في (اللوحة 1.19) من بحث ((Walter et al.(1974)) وهذه الأعراض تظهر بعد إضافة الأملاح للطرق وجوانبها لمنع بقاء الثلج خلال الشتاء، إن أنواع النباتات تختلف في حساسيتها للكلور حيث أن بنجر السكر والشعير والذرة والسبانخ والطماطم تكون عالية التحمل بينما التبغ والفاصوليا والحمضيات والبطاطس والخس. وبعض البقوليات تكون حساسة وذات ميول لسمية الكلور هذه المجموعة الأخيرة الحساسة للكلور (الكارهة للكلور Chloro - phobic) يجب أن تعامل بالكبريتات بدلاً من إضافة الأسمدة التي أساسها كلوريد إن انخفاض الإنتاج والجودة للمحاصيل يكون مرتبطاً مع مستوى الأنسجة الذي يكون حوالي 0.5 – 2 % كلور للنباتات الحساسة و4 % أو أكثر في المادة الجافة لأنواع النباتات المقاومة ((Reisenauer et al. (1973)) اللوحة 1.19.

إن دور الكلور في التغذية لأشجار جوز الهند ونخيل الزيت قد نال اهتماماً كبيراً في السنوات الأخيرة حيث تبين أن استجابة النمو بعد إضافة الكلور قد تحدث في جوز الهند ونخيل الزيت ((Von Uexkull (1972)) و((Daniel and Ochs (1975)) ولم يعرف دور الكلور الذي يقوم به بالتحديد حتى الآن في هذه الأنواع من النباتات.


Plate 19.1 Chloride toxicity in leaves of maple. (Photo: WALTER)

2.19 السيليكون Silicon

أن السيليكون يعتبر ثاني أوفر عنصر بعد الأكسجين في الغلاف الصخري للأرض، وغالباً يدخل في جميع المعادن، إن سهولة وصول السيليكون إلى النباتات يعتمد بدرجة كبيرة

على سرعة كيفية حدوث التجربة التي تجلب السيليكون إلى محلول التربة. السيليكون في المعادن العالية المقاومة للتجرية مثل الكورتز Quartz يكون غير ميسر تماماً. يوجد السيليكون الذائب في صورة هيدروكسيد السيليكون $Si(OH)_4$ Monomeric في مدى رقم هيدروجيني واسع (2 – 9) ويكون في حالة اتزان مع أكسيد السيليكون غير المتبلر Amorphous SiO_2 بتوازن تركيز حوالي2 مليمول (1972) Ponnamperuma عند رقم هيدروجيني أكبر من 9 يكون هيدروكسيد السيليكون $Si(OH)_4$ منـزوع البروتون Deprotonated (Jonson and Handreck (1965)). ويتم التحكم في حامض أحادي السيليكون في محلول التربة بوساطة تفاعلات الادمصاص على أكاسيد الحديد والألومنيوم السيسكي أوكسيدت المعتمدة على Sesquioxides PH إن نقض انخفاض الادمصاص على الجانبين يكون عند الرقم الهيدروجيني 9.5 وفاعلية أكاسيد الألمنيوم هو أكثر من أكاسيد الحديد في الادمصاص رغم أن الميكانيكية الحقيقية ليست واضحة بعد (Janes and Handreck (1967)) لذا فالترب الحامضية تميل لتحتوي على تراكيز عالية من السيليكون في محلول التربة وإن إضافة الجير قد أدت إلى انخفاض في امتصاص عدد من النباتات للسيليكون (Grosse-Braukmann (1956)). لقد تم الحصول على تقييم السيليكون الميسر في التربة من معدل السيليكون السهل الاستخلاص إلى أكاسيد السيسكي Sesquioxides الحرة أو السهلة الاستخلاص فكلما كانت المعدلات مرتفعة لكل من $^{Si}/_{Ai}$ أو $^{Si}/_{Fe}$ فقد وجد أن امتصاص الأرز للسيليكون أعلى (Jones and Handreck (1967)).

من المعروف بان امتصاص النباتات للسيليكون يكون عند رقم هيدروجيني أقل من 9 على صورة حامض أحادي السيليكات المتعادل Uncharged (Jones and Handrech (1965)) رغم أنه ليس هناك ميكانيكية امتصاص متفق عليها في تجارب على الشوفان قد لخص إلى حد كبير ((Jones and Handrech (1965). أن الامتصاص كان غير نشط سلبي لأن المستويات التي لوحظت في النبات اتفقت مع تلك المحسوبة من بيانات تراكيز محلول التربة وامتصاص الماء بواسطة النتح، في الأنواع الأخرى المنخفضة نسبياً في السيليكون مثل الدسيم البنفسحي Crimson clover (البرسيم المدمي Trifolium incarnatum) فقد أقترح أن النباتات يجب أن يكون لها ميكانيكية لإبعاد حامض أحادي السلسليك عن سطح الجذور أو بداخلها، ويوجد دليل على أن الامتصاص يكون أيضياً (نشطاً) حسب ما وجد في دراسة ((Barber and Shone (1966) حيث أن 2 – 3 أضعاف الكمية التي أمكن امتصاصها بجذور الشعير من حامض السلسليك لوحظ أنها أكثر مما قد يحسب بتأثير النتح.

هذه العملية تحتاج إلى طاقة أيضية، كما وجد أن عملية الامتصاص هذه كانت حساسة لمثبطات الأيض والتباين في درجات الحرارة، أن تجمعات السيليكون في عصارة نباتات الأرز أعلى عدة فئات من المرات مما هو في المحلول الخارجي وهذا أيضاً دليل على الامتصاص الحيوي أو النشط (الأيضي) ((Okuda and Takahoshi (1965) من هذه المشاهدات المتباينة يبدو على وجه التقريب أن الاختلافات داخل الأنواع يمكن أن تكون لها أهمية فيما يتعلق بامتصاص السيليكون Si.

إن شكل السيليكون السائد الموجود في النباتات هو جل السيليكا Silica gel الموجود على هيئة سيليكا غير متبلرة متميأة SiO_2nH_2O Hydrated amorphous silica أو حامض السلسيك المتبلر Polymerized silic acid وهذا يشكل أكثر من 90 –95 % من السيليكون الكلي في الأرز ((Yoshide et al. (1962)). الأشكال الأخرى للسيليكون في النبات تتضمن حامض السيلسيك وحامض السيلسيك الغروي. إن السيليكون في عصارة الخشب قد تبين أنها موجودة كحامض السلسيك الأحادي Jones and Handreck (1967).

يعتمد توزيع السيليكون في النباتات بدرجة كبيرة على نوعها، فقد يكون هناك اختلافات بسيطة بين الأجزاء العلوية والجذور في النباتات المنخفضة في السيليكون مثل الطماطم والفجل والكرنب الصيني ((Okada and Takahshi (1965)). في حالات أخرى مثل البرسيم القرمزي قد تجمع الجذور مستويات عالية من السيلكيون. في النباتات العالية في السيليكون مثل الأرز والشوفان يكون حوالي أكثر من 90 % من السيليكون في الأجزاء العليا للنبات بمجرد أن تتصلب جل السيليكا وتترسب تصبح غير متحركة في النبات ((Yoshide et al. (1962)). لتوضح ((Jones and Handreck (1967)) أن خلايا القشرة الخراجية تكون مشربة بالسيليكا التي تكون مرتبطة أساساً بمكونات جدار الخلية. في دراسته بالمجهر الألكتروني بوساطة Yoshida والمشتغلين معه على خلايا بشرة الورقة لنبات الأرز فقد تبين أن طبقة السيلكيا المتحدة مع السلولوز Cellulose تغطى بوساطة طبقة السيليكون تحت البشرة Cuticle، وهؤلاء الباحثون جعلوا أهمية لطبقة السيليكون الثنائية في تحديد

فقدان الماء غير الضروري ومنع دخول هيفات الفطريات Fungal hyphae لقد وجد أن النباتات ذات الفلقتين لا يوجد بها تراكم سيليكا في مواقع البشرة.

يمكن تقسيم أنواع النباتات ذات تراكم السيليكون ومحتواها منه حوالي 2 % في المادة الجافة والنباتات التي لا تجمع السيليكون ومحتواها يكون حوالي 0.25 % في المادة الجافة. النباتات المجمعة للسيليكون أساساً تتضمن كل من العائلة النجيلية Gramineae والعائلة السُعدية Cyperaceae. إن معظم ذوات الفلقتين مثل الفجل والكرنب الصيني والبصل تعتبر غير مجمعة للسيليكون والذي لا ينتج من إضافته استجابة في النمو ((Takahashi and Miyake (1977) لم يكن يعتقد بأن الطماطم يستجيب لإضافة السيليكون لكن في تجارب المحاليل المغذية بين (Takahashi and Miyake (1977 بوضوح أن هذه الأنواع تستجيب للسيليكون إن الأعراض الأولى لعدم التزويد الغير كاف للسيليكون ظهرت في البداية لمرحلة عملية التزهير البرعمي، ماعدا في طور الأزهار. إن نمو النسيج المرستيمي في القمة قد انخفض والأوراق الحديثة بالترب من القمم تبين تشوهات. في أنواع أخرى من النباتات نقص السيليكون يؤدي إلى سلوك الصفصاف المستحيي Weeping Willow في النمو وذبول الأوراق ثم أعراض ذبول النبات ولاشك أن الخاصية الأخيرة لها علاقة بارتفاع معدل النتح للنباتات المنخفضة في السيليكون. إن ظهور بقع التنكرز على أوراق الأعشاب ومحاصيل الحبوب قد لوحظت مع نقص السيليكون، لكن هذا التأثير من المحتمل أن يكون بسبب سمية المنجنيز والحديد كما أن المغذيات الأخرى متركزة في الأجزاء النباتية فوق سطح التربة وأن هذه النباتات تعاني من انخفاض السيليكون

(Vlamis and Williams (1967)). من كل هذه الملاحظات يظهر أن السيليكون يكون ضرورياً لنمو الكثير من أنواع النباتات ويظهر أنه ضروري للنباتات ذات المحتوى المرتفع من السيليكون مثل الأرز والأعشاب وذيل الحصان Horsetail (Levin and Reimann (1969)).

إن الأرز من أهم المحاصيل التي تستجيب للسيليكون كما هو موضح في الشكل (1.19) من دراسة Park (1970) حيث يتبين وجود علاقة بين محتوى السيليكون في قش الأرز وإنتاج الأرز البني Brown rice. عن السيليكون على الأخص يحفز الأجزاء المنتجة في الأرز كما وجد في دراسة Okuda and Takahashi (1966) للمحاصيل المغذية في أراضي الأرز المنخفضة. بيانات هذه الدراسة موضحة في الجدول (1.19) تبين بوضوح أن للسيليكون تأثيراً إيجابياً على وزن الحبوب، بالإضافة إلى ذلك فمكونات إنتاج الحبوب الأخرى مثل عدد العناقيد الزهرية بعدد السنيبيلات في العنقود الزهري ونسبة الحبوب الناضجة كلها كانت متأثرة إيجابياً بالسيليكون.

إن البحث عن الدور الأيضي للسيليكون ليبرر ضرورته الطبيعية في بعض النباتات الراقية قد تولاه الكثير من الباحثين. لقد وجد Engel (1953) أن 20 % من السيليكون الكلي في قش الجاودار Rye straw كان موجوداً في بنية السيليلوز Cellulose framework وأيضاً في معقد جلكتوز السيليكون Silicon galactose complex الذي لم تعرف أهميته بوضوح في عمليات الأيض وكذلك للمعقدات المشابهة له. إن مجموعات هيدروكسيل حامض السيليكون مثل السيلسيك Silicic acid مثل تلك التي في حامض الفوسفوريك

وحامض البوريك يمكن تكتيفها مع السكريات والكحولات والأحماض العضوية إن التشابه الكيميائي بين السيليكون والفسفور والبورون يعني إمكانية الحصول على دليل عن دور السيليكون بوساطة ملاحظة الطريقة التي بها يحل محل أو يتداخل في وظيفة الفسفور أو البورون. لقد وجد تداخل بين الفسفور والسيليكون وبعض التشابه من الاختبارات التي أجريت مثل ملاحظة إضافة السيليكات في الماء للمحلول المغذي قد خفض امتصاص الفسفور ((Eanssmann (1962).

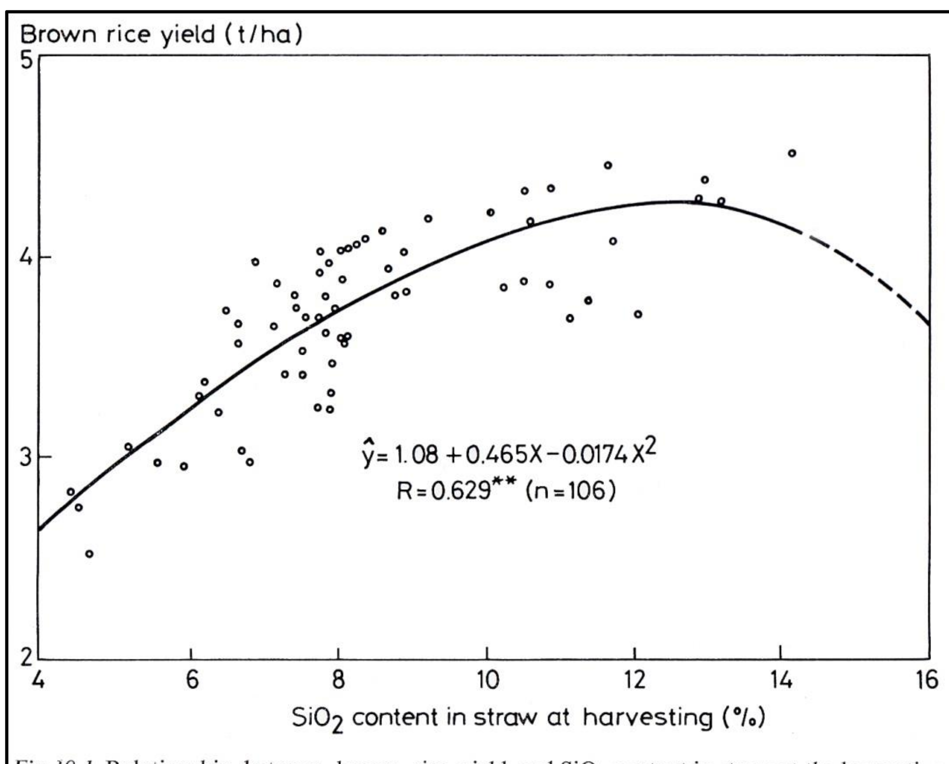


Fig. 19.1 Relationship between brown rice yield and SiO_2 content in straw at the harvesting stage (after PARK [1979]).

Table 19.1 The effect of Si supply on the growth and grain yield of lowland rice (Okuda and Takahashi [1965])

	Top length (cm)	Number of panicles/pot	Number of spikelets/panicle	Percentage of fully ripened grains	Weight of mature grains (g/pot)
−Si..............	85	9.5	49.3	55	5.25
+Si..............	94.5	11.6	63.2	76	10.83

من الناحية الأخرى كان السيليكون غير قادر على إحلال محل الفسفور لتخفيف نقص الفسفور بدرجة قليلة. إن العنصران يختلفان في سلوكهما من حيث تأثير مثبطات الأيض عند الامتصاص (Okuda and Takahashi (1963)). إن المقاومة بين السيليكون والبورون تكون أكثر صعوبة. إن وظائف البورون في أيض النبات غير مفهومة تماماً مقارنةً بما هو معروف عن السيليكون.

هناك دليل بأن النسب العالية للسيليكون إلى البورون $^{Si}/_{B}$ في الوسط الغذائي قد تعرقل النمو وامتصاص الدياتومات البحرية Marine diatoms للسيليكون (Lewin (1966)) لقد تم التوصل إلى مشكلة أيض السيليكات وذلك باستخدام حامض الجرمنك Germanic acid الذي يعمل كمثبط خاص لأيض حامض السيليك Silicic acid ويؤثر فقط على الكائنات الحية ذات الاحتياج للسيليكون (Warner (1967)) ولكن تفصيل وظائف أيضية معينة للسيليكون في النباتات الراقية ليس ممكناً بعد.

إن الأسمدة المحتوية على السيليكا يمكن أن تزيد تيسر الفوسفات ((Fisher (1929)). هناك تجارب تمت في روتمست Rothamsted في بريطانيا عن طريق (Russell (1973 بينت أن إضافة 450 كيلوجرام / هكتار من سيليكات الصوديوم سنوياً مازالت تزيد امتصاص الفوسفات في الأماكن التي ليس بها فوسفات بعد مئات المرات من الاستعمال. إن الميكانيكية التي تكون بها السيليكات فعالة من المحتمل أن تعتمد على ارتفاع تيسر الفوسفات الناتج من تبادل السيليكات للفوسفات المدمص والسيسكي أوكسيدات Sesquioxides ((Ganssmomm (1962)). إن أسمدة السيليكا تتضمن السيليكات المذابة وبقايا الفوسفات Sinter phosphates وبقايا معادن المناجم من سيليكات الكالسيوم Ca Silicate slags. في بعض الأحيان تستعمل هذه الأسمدة على الترب المنخفضة في السيليكا لتحسين إنتاج المحصول وجودته.

تضاف سيليكا بقايا معادن المناجم إلى ترب حقول الأرز لرفع الرقم الهيدروجيني للتربة وزيادة السيليكا الذائبة ((Russell (1973)). وفي محاصيل الحبوب والأرز خصوصاً تعتبر السيليكا ذات أهمية خاصة لتقوية بنية اشتقاق المحصول وتخفيض فقد الماء الزائد وحماية النبات من هجوم الفطريات عليها. إن استخدام أسمدة السيليكا على ترب منخفضة في السيليكا قد زاد محتوى السكر والإنتاج لمحصول قصب السكر ((Ayres (1966)).

3.19 الكوبلت Cobalt

إن تركيز الكوبلت في المادة الجافة لنباتات النامية طبيعياً في التربة تتراوح بين 0.02 إلى 0.5 جزء في المليون. في الترب يكون محتوى الكوبلت عادةً أكثر بدرجة كبيرة ومستوياته

من 1 – 40 جزء في المليون يكون شائعاً رغم أن قيم كثيرة توجد أعلى من 40 جزء في المليون (Swaine (1955 و ((Vanselow (1966). يوجد الكوبلت في كل الصخور النارية بتراكيز من جزء في المليون إلى مئات الأجزاء في المليون وأن مستوى الكوبلت يتبع توزيع الماغنسيوم في معادن الحديد الماغنيسيومي Ferromagnesian ((Mitchell (1964) في الصخور فوق القاعدية Ultrabasic مثل الديونايت Dunite والبيريوديتايت Perioditite والسربينتين Serpentine ذات المحتوى الغني بالماغنيسيوم لمعادن الحديد وماغنيسيوم العالي فقد تكون مستويات الكوبلت من 100 إلى 300 جزء في المليون. من ناحية أخرى الصخور الحامضية التي تضم الجرانيت Granites تحتوي كميات عالية من الحديد لمعادن الحديد وماغنيسيوم تكون منخفضة في مستويات الكوبلت ويتراوح بين 1 إلى 10جزء في المليون. إن التوزيع في الصخور الرسوبية يكون معتمد بدرجة كبيرة على طريقة تكوين هذه الصخور. في الصخور الطينية Argillaceous rock مثل الطفلة الصفحي Shales قد يكون محتوى الكوبلت عالياً نسبياً ويتراوح بين 20–40 جزء في المليون في حين الصخور الرملية Sand stones والصخور الجيرية Limestones تكون عادة فقيرة في الكوبلت بمحتوى أقل من 5 جزء في المليون. يوجد الكوبلت في التربة أساساً في الصفائح البلورية لمعادن الحديد والماغنيسيوم وبذلك لا يكون ميسراً للنباتات ((Mitchell (1972). بعد انطلاق الكوبلت من هذه المعادن عن طريق التجربة فإنه يبقى في صورة تبادلية Co^{+2} أو على هيئة معقدات معدنية عضوية. إن الكوبلت التبادلي يكون مرتبطاً بقوة ويشبه تركيز النحاس الذي يكون منخفضاً جداً في محلول التربة. إن معدل التجوية يكون أكثر سرعة تحت ظروف الصرف

الرديء وهذا ينعكس في ارتفاع تيسر محتوى الكوبلت أعلى مما في الترب الحرة الصرف المشتقة من مواد أثل مشابهة رغم أن مستوى الكوبلت الكلي لتربة قد يكون منخفضاً في مواقع الصرف الرديء (Mitchell (1964)). الكوبلت يمكن أن يصير غير ميسراً بادمصاصه على أسطح أكاسيد المنجنيز لقد وجد في بعض الترب في استراليا أن متوسط 79 % من الكوبلت الكلي للتربة يشترك مع أكاسيد معادن المنجنيز (Taylor and Mckenzie (1966)). نتائج مشابهة قد وجدت في أيرلندا في ترب الصنوبر التي لوحظ فيها مرض نقص الكوبلت على الأغنام (Felming (1977)).

إن النباتات قد تمتص الكوبلت خلال الأوراق لكن الكوبلت الممتص بهذه الطريقة عملياً لا يكون متحركاً (Gustafson and Schlessinge (1956)). إن الكوبلت الممتص بالجذور أساساً يتبع جريان عملية النتح وبذلك تكون نهايات وحواف الأوراق غنية بالكوبلت (Longston (1956)).

إن سلوك الكوبلت يشبه المعادن الثقيلة مثل الحديد والمنجنيز والزنك والنحاس حيث يميل لتكوين مركبات مخلبية أو كلّابية Chelate compounds ويمكن أن يحل محل أيونات أخرى على مواقع ربط ذات أهمية فسيولوجية ويمكن أن يخفض امتصاص وأسلوب التأثير للمعادن الثقيلة الأخرى. لقد لاحظ (Nicholas and Thomas (1954)). أن زيادة الكوبلت في المحلول المغذي يحفز نقص الحديد. لقد بين (Hewitt (1953)) أن التأثير السام لزيادة الكوبلت يشبه نقص المنجنيز. هاتان الملاحظتان تدلان على أن تأثيرات السمية من زيادة الكوبلت ذات علاقة بتأثير الكوبلت في إحلاله محل المعادن الثقيلة الأخرى في المراكز

ذات الأهمية الفسيولوجية إن تأثيرات سمية الكوبلت في النباتات تنتج عند المستويات التي تكون مصغرة ومتنكرزة والتي تكون أكثر الأحيان ذابلة بالكامل.

بعض أنواع النباتات تكون أقل حساسية لسمية الكوبلت وفي بعض الحالات يتجمع الكوبلت بمستويات عالية تصل إلى 100 ضعف وجوده بالنباتات الأخرى النامية على نفس التربة ، إن أشجار صمغ المستنقعات الأسود Swamp black gum (Nyssa sylvatica) الذي ينمو في جنوب شرق الولايات المتحدة قد يصل محتواه من الكوبلت إلى 1000 جزء في المليون في المادة الجافة. هذه الأنواع من النباتات تكون دليلاً جيداً عن تيسر الكوبلت وقيمه في الورقة عندما تكون أقل من 5 جزء في المليون. فهذا دليل على نقص الكوبلت في غذاء الحيوانات المجترة من أعشاب المراعي تحت نفس الظروف البيئية (Vanselow (1966)). هناك أنواع أخرى من النباتات التي تجمع الكوبلت قد تستعمل كدليل على وجود حديدوز الكوبلت Cobaltiferous الخام، لقد وجد أحد هذه الأنواع من النباتات في منطقة شاربا Sharba بزائير وموجودة في مساحات غنية بالكوبلت وهو كروتولارياكوبلتيكولا Crotolaria cobalticola (زئبقية الكوبلت Fleur du cobalt) حيث أن محتواها من الكوبلت يصل إلى 500–800 جزء في المليون في المادة الجافة (Duvigneaud and Denaeyer - Desmet (1959)).

لقد أصبح معروفاً أن الكوبلت يكون ضرورياً للأحياء الدقيقة المثبتة للنيتروجين الجزيئ أو العقد الجذرية للبقوليات وأشجار جار الماء Alder تحتاج إلى الكوبلت (Reisnauer (1960),Kiliewer and Evans (1962)) كما تحتاجه الطحالب المثبتة

للنيتروجين ((Holmhansen et al. (1954). لقد وجد أن تثبيت النيتروجين قد تحفز العقد الجذرية للنباتات الصفصفة المزودة بالكوبلت ((Powrie (1964) أن التأثير السلبي الحاد لنقص الكوبلت في الوسط الغذائي على نمو فول الصويا نجده موضحاً في اللوحة (2.19) إن الكوبلت يكون الجزء المعدني لمركبات فيتامين B_{12} حيث يشبه طريقة الحديد في الهيمين Haemin والكوبلت يكون مخلبي لربط أربع ذرات في المنتصف لتركيب البروفرين Porphyrin (الشكل 2.19). معقد الكوبلت هذا يعطي المجموعة التكميلية (إضافية) التي تكون مرتبطة مع النوية في الإنزيم المساعد لفيتامين B_{12} وهذا يسمى الإنزيم المساعد كوباميد Cobamide coenzyme ((Kliewer and Evans (1963). عن كيفية تأثير هذا الأنزيم المساعد في تثبيت النيتروجين ما زالت غير كاملة الوضوح.

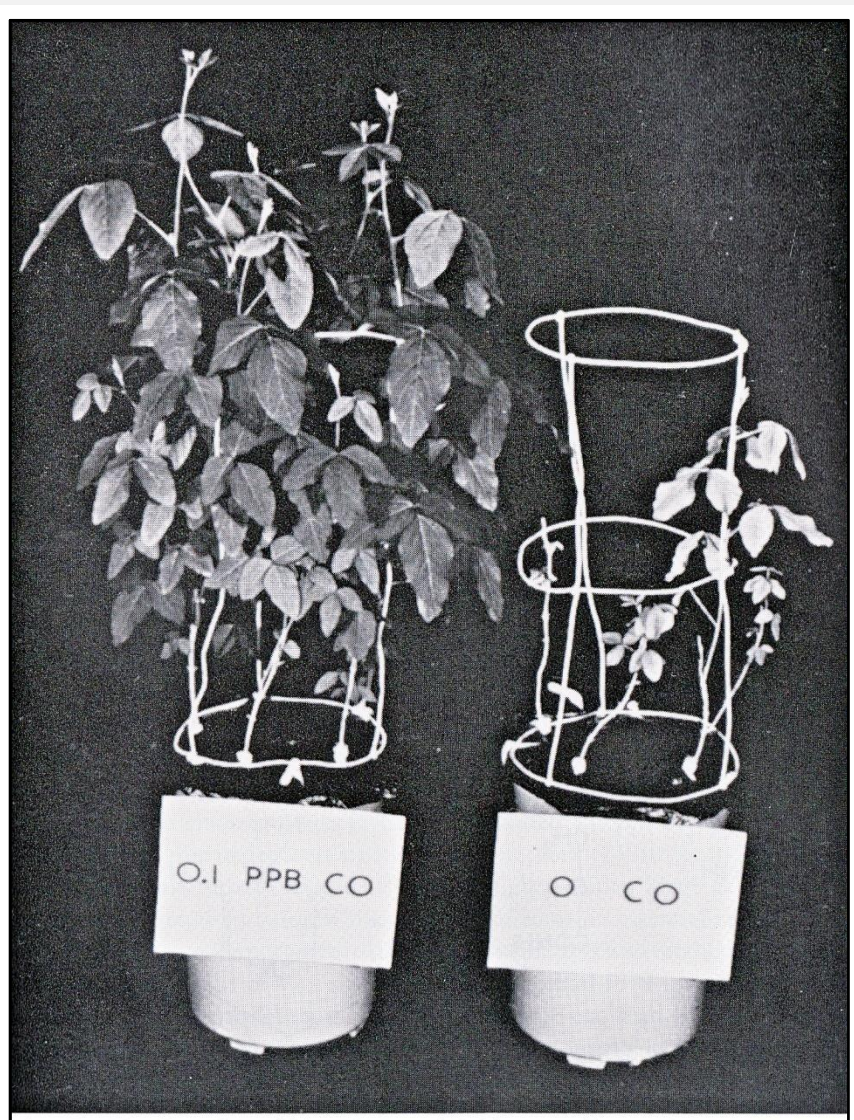


Plate 19.2 The effect of the addition of 0.1 μg of Co/l in the nutrient solution on the growth o
soya bean in symbiosis with *Rhizobium japonicum* .
(Photo: AHMED and EVANS)
By courtesy of *Plenum Publishing Co. Ltd.)*.

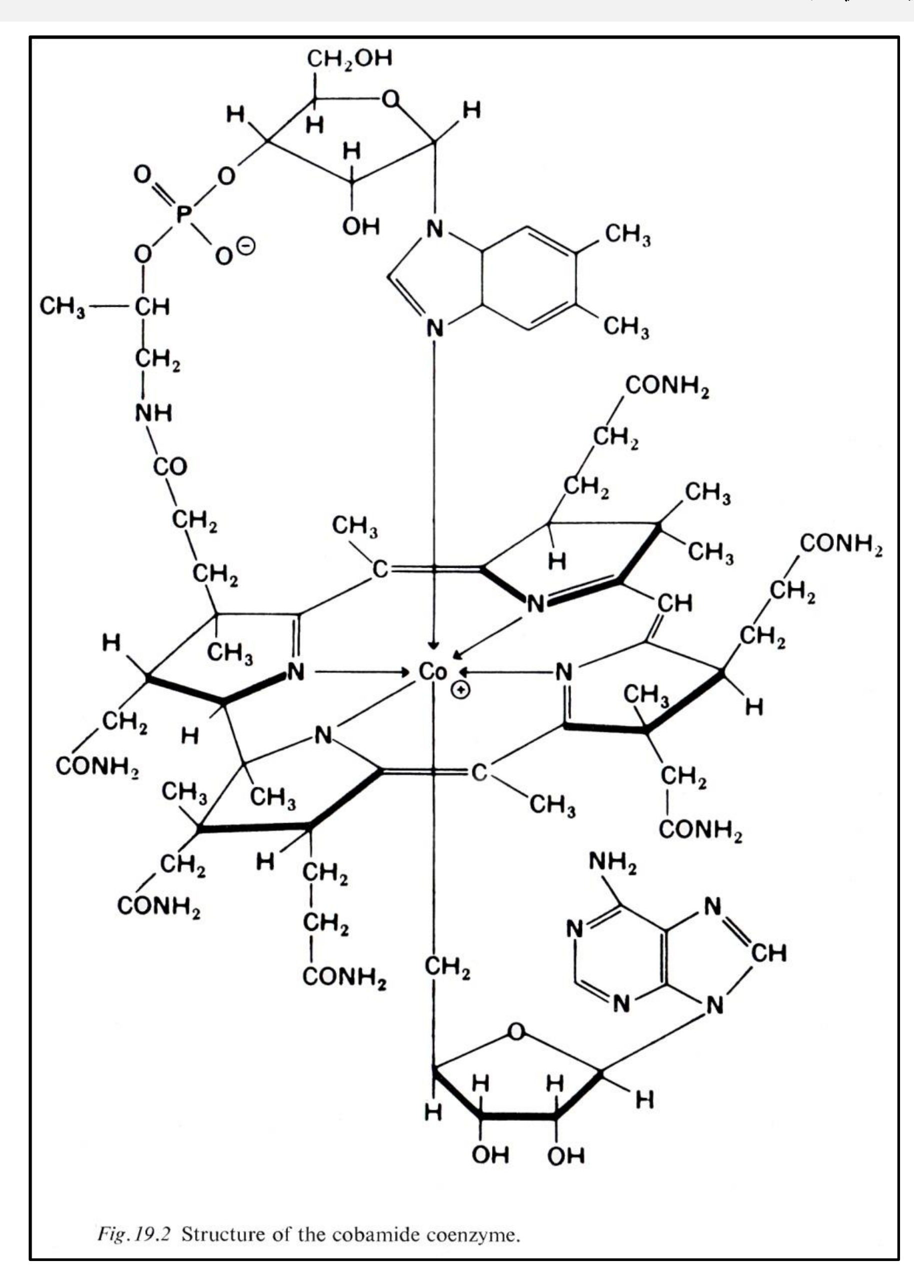


Fig.19.2 Structure of the cobamide coenzyme.

لقد بين ((Kiiewer and Evans (1963)) في الجدول (2.19) بأن تأثير ارتفاع مستويات الكوبلت في الوسط الغذائي أدى إلى زيادة في إنتاج الوزن الرطب وامتصاص النيتروجين ومحتوى الإنزيم المساعد B_{12} لبكتيريا تثبيت النيتروجين التكافلية Rhizobium ,meliloti. إن الاحتياج للكوبلت في عملية تثبيت النيتروجين هو قليل جداً. حيث وجد ((Wilson and Reisenauer (1967))، إن الكمية الكافية من الكوبيت لنبات الصفصفة كانت حوالي 10 جزء في الترليون (1×10^{-9}) وهذه تمثل $^{1}/_{300}$ من احتياج المولبيدنم على الأساس الذري.

Table 19.2 Effect of Co on the growth and yield of N and B_{12} coenzyme in *Rhizobium meliloti* (Kliewer and Evans [1963])

Co concentration in medium µg/l	Fresh weight of cells mg/flask	Total N mg/flask	B_{12} coenzyme content n moles/g fresh weight
0.00	547	118	<1.00
0.02	790	188	12.9
2.00	1034	272	45.0

هناك طريق واحد يظهر فيها الكوبلت ضروري وهي تحويل البروبيونيت Propionate إلى الإنزيم المساعد سكسنيل Succinyl coengyme وهذا يحدث في العقد البكتيرية Nodule bacteroids وفي الوسط الخلايا الريزوبيم Rhizobium وتدخل في هذه العملية عدة خطوات كالآتي:

Propionate→ Propionyle CoA→ Methyl malony CoA→ Succinyl CoA

إن الإنزيم المساعد سكسنيل الناتج يتفاعل مع الجليسين Glycine لتكوين حامض ليفولك الاميني Aminolaevulic acid (ALA) الذي يتحول إلى هيم Haem في عدة خطوات (أنظر الشكل 1.13) يبدو من المرجع أن هذه الميكانيكية التي عن طريقها يدخل البروبيونيت في جزء الهيم التابع للجهيموجولبين Leghaemoglobin (Evans and Russell (1971)).

مازال هناك استفهام عن ضرورة الكوبلت للنباتات الراقية بالإضافة إلى احتياجه في عملية تثبيت النيتروجين التكافلية هناك دليل باحتياج النباتات الراقية للكوبلت حيث زاد إنتاج الوزن الجاف معنوياً لنباتات البرسيم التحت أرضي غير ذي العقد البكتيرية وذلك بإضافة تركيز منخفض جداً للكوبلت في الوسط الغذائي ((Hallsworth et al. (1965) و((Wilson abd Hallsworth (1965). لقد لاحظ ((Wilson and Nicholas (1967) استجابة القمح للكوبلت والتي كانت مشابهة للبرسيم التحت أرضي غير ذي جذرية والمؤكدة في العمل السابق. بالإضافة إلى هذه البحوث فقد بين المشتغلين بأعراض نقص الكوبلت في كلا النوعين من النباتات كاصفرار في الأوراق الحديثة. معقدات الكوبلت ذات الوزن الجزئي المنخفض قد أُستدل عليها في النباتات النامية في وسط معقم وهذا يبين اندماج الكوبلت في عمليات الأيض. لقد وجدت ملاحظات مشابهة بوجود فيتامين B_{12} في البازلاء والقمح والترمس Lupins تحت الظروف المعقمة ((Fries (1962). عمل (Wilson and Nicholas (1967)) كان أول من بين نقص الكوبلت في النباتات الراقية على الرغم من هذا فهناك حاجة إلى أدلة كثيرة قبل اعتبار الكوبلت وصنف كعنصر ضروري للنباتات. إن الكوبلت

يعتبر أيضاً ذو أهمية في تغذية الحيوان. لقد ثبت أن الكوبلت هو المعدن المكون لفيتامين B_{12} الذي يكون ضروري في أيض النيتروجين في المجترات. إن المستويات غير الكافية من الكوبلت في الأعشاب قد تؤدي إلى أعراض نقص الكوبلت في المجترات وتكون مميزة بفقدان للشهية وتوقف النمو وضعف القدرة الإنتاجية. ويكون المستوى الحرج للكوبلت في غذاء المجترات حوالي 0.08 جزء في المليون في المادة الجافة للأعشاب ((Under wood (1971) تغذية الحيوانات المجترة التي أساسها أعشاب الأعلاف Forage grasses وحبوب العلف تحتاج عادةً إلى التجهيز بالكوبلت حيث أن الأعشاب تكون دائماً منخفضة في الكوبلت. إن المستويات المرتفعة جداً من الكوبلت توجد عادةً في البقوليات وهذا مبين في الجدول (3.19) عن دراسة مقارنة بين الأعشاب والبقوليات النامية على عدة مواقع لأنواع مختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية ((Kubota and Allaway (1972).

Table 19.3 Comparison of Co concentrations of common forage plants grown on widely different soils (Kubota and Allaway [1972])

	Plant species	Co concentration μg/g dry matter
Legumes	Lucerne	0.18
	Alsike clover	0.27
	Red clover	0.15
Grasses	Brome grass	0.04
	Cocksfoot	0.08
	Timothy	0.04

إن نقص الكوبلت يحدث في الترب الرملية العالية الغسيل والترب المشتقة من الصخور النارية الحامضية أو في الترب العالية الكلس أو الترب الخثية Peaty soils. إن الرقم

الهيدروجيني الملائم لنقص الكوبلت يكون بين التعادل إلى القاعدي ((Mitchell (1972)). لقد استعملت عدة مستخلصات لتحديد الكوبلت الذائب أو الميسر ومن هذه المستخلصات 2.5 % حاض الاستيك والخليك (الرقم الهيدروجيني 2.5) وخلات الأمونيوم المتعادلة Neutral N ammonium acetate أو 0.05 مول EDTA. إن مستخلصات حامض الخليك للترب الزراعية الطبيعية يعطي مستويات كوبلت من 0.05 إلى 2 جزء في المليون ويتوقع ظهور نقص الكوبلت عند قيم أقل من 0.01 جزء في المليون، ويمكن معالجة نقص الكوبلت بإضافة معادن المنجنيز فإنه تكون قادرة على وقف حركة الكوبلت ويكون الاحتياج إلى كميات كبيرة من أملاح الكوبلت ((Mckenzie (1975)).

4.19 الفانديوم Vanudium

ينتشر الفانديوم بتوسع في المواد البيولوجية وهناك دراسات كثيرة بأن التراكيز المنخفضة يمكن أن يكون لها تأثير ايجابي على نمو الأحياء الدقيقة والحيوانات والنباتات الراقية ((Arnon and Wessel (1953), Pratt (1966)). يتضح أن الفانديوم ضروري للطحالب الخضراء سنيدسمى أو بليكس Scendesmus obliquus ((Arnon and Wessel (1953)). رغم أن دوره غير معروف. بعض الأدلة تقترح بأن الفانديوم قد يحل جزئياً محل المولبيدنم في تثبيت النيتروجين في الأحياء الدقيقة لكن الأدلة للإحلال في تثبيت النيتروجين التكافلي غير مقنعة ((Stewart (1966)).

في النباتات الراقية لا توجد أدلة حتى الآن بأن الفانديوم هو عنصر ضروري لأي نوع من النباتات. لقد زرع ((Welch and Huffman (1973)) خس وطماطم في محلول

غذائي ذو تركيز فانديوم أقل بكثير مما يحتاج إليه سسنيدسمى أوبليكس Scendesmus obliquus فلم يلاحظ نقص الفانديوم وانه لو كان الفانديوم ضروري للنباتات فالمستويات الكافية في أنسجة النباتات تكون أقل من 2 نانو جرام (ng) في جرام الوزن الجاف. هنا التركيز يعتبر أقل بكثير من القيم الطبيعية التي وجدت في مادة النبات التي متوسطها حوالي 1 جزء في المليون. إن الكميات الزائدة من الفانديوم قد تكون سامة وقد لوحظ هذا في تجارب المحاليل المغذية ((Warrington (1955) إن نقص وسمية الفانديوم ليس لها أي تأثير معنوي تحت الظروف الحقلية.

الفصل العشرون

عناصر ذات تأثيرات أكثر سمية

لا يوجد حد فاصل بين العناصر التي تكون سامة للنباتات وتلك التي لها تأثير إيجابي أو حتى تأثير ضروري. التأثير لأي عنصر على النبات لا يعتمد على خواصه الكيميائية فقط لكن يعتمد أيضاً على تركيزه ووجود تراكيز العناصر الأخرى. إن طور النمو (العمر الفسيولوجي) ونوع النبات بجانب العوامل البيئية الأخرى تكون ذات أهمية بالدور الذي تلعبه في حياة النبات. بعض العناصر مثل الحديد والمنجنيز والنحاس والبورون والزنك تكون ضرورية عندما توجد بتراكيز منخفضة لكنها تكون سامة عند مستويات تراكيز عالية. إن التأثيرات السامة لهذه العناصر قد شرحت في الفصول السابقة. في حالة العناصر الثقيلة مثل الرصاص Pb والكادميوم Cd فإن سميتها تحدث بوساطة تشابهها للعناصر الضرورية الخفيفة في عملية الامتصاص وفي السلوك الكيموحيوي.

1.20 اليود Iodine

إن اليود والبروم نموذجان لمعظم العناصر التي وصفت سلفاً، وأي منهما لم يتبين أنه ضروري للنباتات لكن الاثنين لهما تأثير محفز على نمو النبات عند التركيزات المنخفضة، والتأثيرات السامة تكون عند التراكيز العالية. لقد لوحظ أن اليود له تأثير محفز عند مستويات تركيز حوالي 0.1 جزء في المليون في التربة وفي المحلول المغذي في حين أن التأثيرات السامة تحدث عند تراكيز حوالي 0.5 – 1.0 جزء في المليون. ((Martin (1966) وهذا التركيز السام يكون أعلى من مستويات اليود العادية المذابة في التربة وبذلك فلم يتم تقدير سمية اليود على الترب الزراعية.

إن التأثيرات السامة للمستويات العالية لليود تبدأ في الأوراق القديمة حيث تصبح أوراق الطماطم صفراء وتسقط بينما تبقى الأوراق الحديثة خضراء داكنة. تحدث عملية إعاقة للنمو وتتجعد الأوراق وتتنكرز نهاياتها وحوافها.

عند الحالات الحادة السمية يموت النبات. إن سمية اليود قد وجدت عندما كان التركيز في النبات أكثر من 8 جزء في المليون، إن المستويات الطبيعية لليود في النباتات السليمة تكون حوالي 0 – 0.5 جزء في المليون. إن المستويات العالية من الكلور يمكن أن تحد من التأثيرات السامة لليود والتي قد تكون نتيجة تأثير التنافس بين العنصرين ((Lewis and Powers (1941)). هناك احتياج لليود في تغذية الحيوان كعنصر ضروري لهرمون الدرقين Thyroxine.

I I
HO – (ring) – O – (ring) – CH_2 – CH – COO^-
I I NH_3^+
thyroxine

2.20 البروم Bromine

إن النباتات تمتص البروم كأيون سالب Br^- وفي العموم فالأيون ليس ساماً بدرجة اليود وفي الحقيقة لقد استعمل في الكثير من الدراسات الفسيولوجية عن امتصاص الأيون. يوجد البروم في الترب بمستويات منخفضة جداً فإن سميته لا توجد طبيعياً. عند استعمال معقمات التربة المحتوية على البروم مثل بروميد المثيل Methyl bromide فقد وجد أن لها

تأثيرات سامة على عدد من النباتات الحساسة مثل الكرنيشن والأقحوان والبطاطس والسبانخ وبنجر السكر ((Martin (1966) إن أعراض سمية البروم تشبه تأثيرات زيادة الأملاح وتصبح الأوراق صفراء يتبع ذلك تنكرز حافة الورقة والحواف. عن سمية البروم ينتج عنها أيضاً ضعف إنبات البذور. هناك بعض أنواع النباتات تكون غير حساسة لسمية البروم مثل الجزر والتبغ والطماطم. هذه الأنواع يمكن أن تجمع أكثر من 2000 جزء في المليون من البروم بدون ظهور أي تأثيرات ضارة. إن المستويات الطبيعية للبروم للنباتات النامية في التربة تكون عادةً أقل بكثير وتتراوح بين 0 – 260 جزء في المليون Martin (1966) والتراكيز تكون أكثر الأحيان قرب الحد الأدنى لهذا المعدل.

يمكن أن يحل البروم محل جزء من الكلور لحد معين تحتاجه النباتات ((Broyer et al. (1954). لقد لوحظ أن جزءاً من هذا التأثير نتج من إزاحة الكلور من المواقع غير النشط مثلما في الجذور إلى مواقع ضرورية أخرى ((Ozanne et al. (1957). وقد لاحظوا أيضاً أن أعراض نقص الكلور يمكن التغلب عليها بإضافة البروم.

3.20 الفلورين Fluorine

يوجد الفلورين عموماً في مادة النبات بمستوى يتراوح بين 2 – 20 جزء في المليون في المادة الجافة على الرغم من أن بعض النباتات قادرة على تجميع كميات أعلى من ذلك. إن الشجيرة السامة ديتشبيتالم سيموسم Dichapetalum cymosum على سبيل المثال يمكن أن تجمع حوالي 200 جزء في المليون على شكل خلات الفلور (فلورولاستيت Fluoroacetate) الذي يكون ساماً للحيوانات وذلك لتحويلها في التغذية إلى سترات الفلور

Fluorocitrate المثبط تنافسياً لأنزيم أكونيتيز Aconitase المسؤول عن تحويل السيترات Citrate إلى ايزوسيترات Isocitrate في دورة TCA. قد تبين أن الشاهي به مستويات عالية من الفلورين تصل إلى 400 جزء في المليون ((Mitchell and Edman (1945)). يحتوي أيضاً فلوراستيت إن الكميات الكبيرة من الفلورين تسبب سمية من خلال التغذية.

المستويات المرتفعة من الفلورين تكون عادةً سامة للنباتات وأن التنفس يمكن أن يحدث له تحفز وتوقف. حسب ((Miller and Miller (1974)). بأن تعقيم فول الصويا بفلورين الهيدروجين، حامض الهيدروفلوريك HF، يحفز التنفس في البدء ثم ينتج هذا توقف عملية التنفس. إنه من المعروف بأن أنزيمات التنفس الأنوليز Enolase على الأخص تكون حساسة جداً حتى للمستويات المنخفضة من الفلورين. إن السبب المبدئي لتأثير التحفز على عملية التنفس مازال غير واضح. حسب ((Lee et al. (1965)). فإن أنشطة الأنزيمات كلها في فول الصوبا قد زادت بمعاملة الفلورين وهي أنزيمات ديهيدروجنيز الجلوكوز– 6 – الفوسفات Glucose-6-phosphate dehydrogenase والكاتاليز Catalase والبيروكسيديز Peroxidase وأكسيديز السيتوكروم Cytochrome oxidase وهذا يساهم في تحفيز عملية التنفس في البدء.

إن الفلورين يثبط أنزيم البيروفوسفاتيز غير العضوي Inorganic pyrophosphatase وبذلك يحفز أكسدة الأحماض الدهنية الحرة ((Lehninger (1975)).

إن سمية الفلورين تكون موجودة تحت الظروف الحقلية في مناطق التلوث الصناعي حيث يوجد حامض الهيدروفلوريك Hydrofluoric acid. إن تعرض النباتات حتى لتراكيز

منخفضة جداً تصل إلى أجزاء في المليار من حاض الهيدروفلوريك لمدة طويلة من عدة أشهر يؤدي إلى رفع التأثيرات السامة في الأوراق في العديد من المحاصيل. أعراض التسمم تختلف فيما بين أنواع النباتات لكن هناك نوعان تحدثان وهما تنكرز الحواف بعض الأحيان ويسمى حرق النهايات Burnt tip واصفرار العروق الوسطية ((Brewer (1966)). معظم أنواع النباتات تبين اصفرار الحواف وتلفها واصفرار العروق الوسطية كأعراض أولية في صورة أقل حدة من السمية.

هناك أنواع قليلة مثل الذرة تبين الأعراض بتأثرها بالاصفرار فقط. بعض المحاصيل تكون أكثر حساسية من الأخرى حامض الهيدروفلوريك وهذه تتضمن الأعناب وأشجار الفاكهة. على العموم المحاصيل التي تجمع مستويات عالية من الفلورين تكون أقل حساسية. لقد نوقشت أعراض سمية الفلورين بالتفصيل ((Brewer (1966)).

إن المحتوى الكلي للفورين في التربة لا يعكس عادةً تيسره. عن الصورة التي يمتصها النبات هي الفلورين الذائب والعوامل التي تسيطر على هذا الأيون في محلول التربة هو الرقم الهيدروجيني للتربة وكمية الكالسيوم والفسفور في التربة ((Hurd-Karrer (1950)). عندما يكون الرقم الهيدروجيني للتربة عالياً أو عندما يوجد كالسيوم أو فسفور التربة بكميات كبيرة فإن فلورين التربة يثبت كفلوريد كالسيوم CaF_2 أو سيليكو فلوريد الألمنيوم Aluminium siolicofluoride [$Al_2(Si F_6)_2$]، حتى عندما تكون مستويات الفلورين الذائبة عالية كما يوجد تحت ظروف التربة الحامضية فإن فلوريد التربة لا يكون امتصاصه سهلاً بواسطة الجذور. جهد الامتصاص المنخفض للفلورين قد ثبت بمقارنة امتصاص جذور

الشعير للفلور والكلور حيث عندما كانت تراكيزها متساوية في منطقة الجذور فإن امتصاص الكلور سيكون 100 مرة أعلى من الفلور ((Venkateswarlu et al. (1965)). هذه التأثيرات للتيسر الضعيف في التربة وجهد الامتصاص المنخفض تحلل مستويات الفلور الضئيلة في النباتات وندرة سمية الفلور التي تنتج عند الامتصاص الزائد من التربة. هذا الموضوع عن الفلوريد وحياة النبات قد روجع بوساطة ((Weinstein (1977)).

4.20 الألمنيوم Aluminum

يشكل الألمنيوم أكثر من 15 % من القشرة الأرضية في صورة أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 لهذا فالألمنيوم هو من المكونات ذات الأهمية في التربة حيث أنه مع السيليكون يكونان الجزء الأساس لصفائح معادن الطين الأولية والثانوية. إن ذوبانية الألمنيوم قليلة جداً في الترب المتعادلة والقلوية ولذلك فإنه لا يكون ساماً لنمو النبات. في الحقيقة هناك بعض الأدلة بأن المستويات المنخفضة للألمنيوم لها تأثير مفيد على نمو النبات رغم عدم وضوح الآلية ((Foy (1974)). تحتوي النباتات الراقية عادةً ما يقرب من 200 جزء في المليون ألمنيوم في المادة الجافة، في نبات الشاهي قد تصل مستويات الألمنيوم إلى حوالي 2000 – 5000 جزء في المليون وحسب ((Chenery (1955)) فالألمنيوم يكون ضرورياً للنمو الطبيعي لشجيرة الشاهي.

في الترب الحامضية ذات قيم الرقم الهيدروجيني أقل من 5.5 فإن ذوبانية الألمنيوم يزداد بشدة وأكثر من نصف مواقع التبادل الكاتيوني قد تكون مشغولة بالألمنيوم ((Evan and Kamprath (1970)). تحت مثل هذه الظروف يكون من المرجح حدوث سمية

الألمنيوم في النباتات، وتزداد الحموضة في معظم الأحيان مع العمق خصوصاً في مقطع الترب الحامضية طبيعياً وبذلك يكون تعمق الجذور محدوداً ولا يمكن الاستفادة من رطوبة ومغذيات الطبقة التحتية للتربة Subsoil. إن أول ملاحظات تأثير الألمنيوم على النبات هي محدودية نمو الجذور ((Clarkson and Sanderson (1964). حيث تصبح الجذور والتفرعات الجانبية منها سميكة وتتحول إلى اللون البني ((Foy et al. (1978). إن امتصاص الفوسفات ونقله إلى الأجزاء العليا للنبات يتأثر معظم الأحيان بوجود الألمنيوم وأن السمية في القمم تكون دائماً مميزة بتشابهها مع أعراض نقص الفسفور مثل اخضرار الأوراق الداكن وإعاقة النمو وظهور اللون الأرجواني على السيقان ((Foy (1974).

وفي خلية النبات قد يتعارض الألمنيوم مع أيض الفوسفات بتكوين معقدات ثابتة من فوسفات الألمنيوم، إن الألمنيوم معروف بربطه القوي لمجموعات الفوسفات للأحماض النووية التي قد ينتج عنها تثبيط انقسام الخلية ((Morimura et al. (1978) إن للألمنيوم أيضاً يؤثر في نشاطات أنزيمات الفوسفوكينيز Phosphokinases ATPase.

إن سمية الألمنيوم تكون مصحوبة معظم الأحيان بمستويات عالية من الحديد والمنجنيز وانخفاض تراكيز الكالسيوم والماغنسيوم في أنسجة النبات وهذا متوقع لأن سمية الألمنيوم ترتبط بالترب الحامضية التي يكون فيها تيسر الحديد والمنجنيز عالياً ومستويات الكالسيوم والماغنسيوم تكون دائماً منخفضة بسبب عملية الغسيل ((Plant (1956). إن التأثير الضار للترب الحامضية على نمو النبات يكون دائماً بسبب ارتفاع مستويات ذوبان الألمنيوم وليس لارتفاع تراكيز أيون الهيدروجين. إن إضافة الجير يكون الأكثر فاعلية للتحكم

في سمية الألمنيوم في الترب الحامضية، أنواع النبات وحتى الأصناف لنفس النوع تختلف بدرجة كبيرة في مقاومتها لزيادة الألمنيوم الذائب أو المتبادل، إن جدول (1.20) هو مثال يوضح مقارنة الإنتاج لثلاثة أصناف من القمح زرعت في تربة بها مستوى الألمنيوم سام (Foy et al. (1965)) إن ارتفاع الألمنيوم للتربة في هذه التجربة كان له أقل تأثير على الصنف أطلس Atas 66 مما هو عليه في الصنفين مونون Monon وثاتشر Thatcher. إن البيانات في الجدول تبين أيضاً أن إضافة الجير تخفض سمية الألمنيوم التي اختفت عند الرقم الهيدروجيني 5.8 ووصل عندها الإنتاج إلى أقصاه بالمقاييس العالمية فإن زيادة إنتاج المحاصيل ستكون محدودة بسبب سمية الألمنيوم والمنجنيز. إن اختيار المادة الوراثية لمقاومة الألمنيوم والمنجنيز بدرجة قصوى من الأهمية وهذا الموضوع يكون جديراً بالعناية لدرجة كبيرة (Konzak et al. (1976)).

Table 20.1 Effect of liming on 3 wheat cultivars grown on an Al toxic soil (Foy *et al.* [1965])

$CaCO_3$ added, ppm	Soil pH	Yield of tops, g dry matter/pot		
		Atlas 66	Monon	Thatcher
0	4.2	1.50	0.49	0.23
1500	5.1	4.23	3.66	3.71
3000	5.8	4.25	4.66	4.76
4500	6.7	3.67	3.95	3.99
6000	7.2	3.16	2.99	2.81

هناك سبب واحد لاختلافات الأصناف في الاستجابة للألمنيوم إلى تباين قدرة النباتات لتحوير الرقم الهيدروجيني حول الجذور في التربة، حيث لوحظ Foy et al. (1967) بأن أصناف القمح والشعير الحساسة للألمنيوم خفضت الرقم الهيدروجيني في الوسط الغذائي

أكثر من تلك الأصناف التي تتحمل. إن النباتات التي تخفض الرقم الهيدروجيني تزيد إذابة الألمنيوم وكذلك احتمال السمية.

لقد وجد نفس التأثير مع التغذية بالألمنيوم حيث أن الامتصاص الكاتيوني يتعدى الامتصاص الأنيوني ويحدث استخلاص الهيدروجين من الجذور مما يسبب خفض الرقم الهيدروجيني في بيئة الجذور. إن تأثير الألمنيوم على نقص النمو يكون أعلى بدرجة كبيرة مع الأمونيوم NH_4. إن مقاومة الألمنيوم يمكن أن تعتمد على آلية إبعاد الألمنيوم الذي تم توضيحه بتجارب على صنف القمح Atlas الذي يتحمل الألمنيوم والصنف الحساس للألمنيوم بريفور Brevor ((Henning (1975)). يحتاج هذا الصنف إلى حوالي 100 – 200 ضعف من الألمنيوم في الوسط الغذائي ما يحتاجه الصنف الحساس للألمنيوم بريفور Brevor قبل أن يتخلل الألمنيوم صفائح البلازما Plasmalemma لخلايا الجذور المرستيمية (الإنشائية) وضرر الألمنيوم لكلا الصنفين يحدث بمجرد دخوله الخلية.

هذا المثال يبين أن صفائح البلازما قد تبعد الألمنيوم وهذا يبين الفروق الموجودة فيما بين الأصناف. تحمل الألمنيوم قد يكون بوساطة الأحماض العضوية ومتعدد الفيولات Polyphenoles الذي يوقف السمية بتكوين مركب مخلبي Chelation ومحصول الشاهي هو المثال النموذجي لهذا النوع من التحمل الذي يمتص كمية كبيرة من الألمنيوم الذي يخزن في الأوراق القديمة والتي تمنع السمية عن طريق المركبات العضوية ((Sivas-Ubeamanian and Taliburdeen (1972)). هناك مراجعة جيدة عن سمية المعادن وخاصةً الألمنيوم في بحوث Foy et al. (1978).

5.20 النيكل Nickel

النيكل يشبه الكوبلت لدرجة كبيرة في خواصه الكيميائية والفسيولوجية. إن النيكل يشكل مركبات مخلبية بسهولة ويمكن أن يحل محل المعادن الثقيلة الأخرى من ناحية المراكز الفسيولوجية المهمة، إن التراكيز العالية من النيكل لها تأثير سام على النباتات لقد لاحظ ((Vergnano and Hunter (1952). أن سمية النيكل على الشوفان تشبه بدرجة كبيرة نقص الحديد وهذا بسبب إحلال النيكل محل الحديد، إن التراكيز المرتفعة للنيكل في الوسط الغذائي يخفض امتصاص معظم العناصر الغذائية الأخرى ((Crook and Inkson (1955). وحسب ((Kright abd Crooke (1956) فإن هذا الانخفاض في الامتصاص ينتج عن التأثيرات الضارة من ارتفاع تراكيز النيكل على الجذور، لقد وجدت مراجع عن سمية النباتات بالنيكل Phytotoicity of Ni بوساطة (Mishra and Kar (1974.

إن السمية الحادة للنيكل تؤدي إلى اصفرار اللون وفي محاصيل الحبوب تظهر شرائط صفراء شاحبة على طول الأوراق وأخيراً قد تتحول الورقة بالكامل إلى اللون الأبيض وفي الحالات الشديدة يحدث تنكرز في حواف الورقة. في النباتات ذوات الفلقتين تظهر سمية النيكل باصفرار بين عروق الورقة والأعراض تشبه أعراض نقص المنجنيز ((Hewitt (1953).

معظم الترب تحتوي على كميات ضئيلة جداً من النيكل وعادةً أقل من 100 جزء في المليون وهي منخفضة جداً عن المستوى الذي تحدث عنده سمية النيكل. الترب المشتقة من الصخور والنارية الفوق قاعدية Ultrabasic igneous rocks وخاصةً السربنتين Serpentine قد يحتوي على 20 إلى 40 ضعفاً. هذا التركيز وسمية النيكل في النباتات هي

معروفة ومتوقعة. توجد ترب السربنتين في مناطق مختلفة من العالم مثل سلسلة جبال سواحل المحيط الهادي في الولايات المتحدة الأمريكية وشمال اسكتلندا وأجزاء من البلقان وجنوب روسيا وزمبابوي في عملية التجوية ينتج معدن السربنتين $(H_4MgFe)_5Si_2O$ ترب مميزة مع أعشاب متميزة وغطاء نباتي خفيف أو متناثر. الترب الغنية بالمنجنيز والحديد تكون فقيرة في الكالسيوم بالإضافة إلى احتوائها على مستويات عالية نسبياً من النيكل والكوبلت والكروم، لقد وجد ((Krause (1962) أن 250 جزء في المليون من النيكل التبادلي في الطبقة السطحية للتربة الحمراء المشتقة من السربنتين مقارنةً بحوالي 1 جزء في المليون من الموجود عادةً في الترب الزراعية في تربة السربنتين تكون النسبة التبادلية للكالسيوم إلى الماغنسيوم ($^{Ca}/_{mg}$) منخفضة جداً وغالباً تكون أقل من 0.4 وأن محاصيل الحبوب باستثناء الشوفان هي محاصيل زراعية ذات مقدرة أفضل للنمو تحت هذه الظروف.

سمية النيكل يمكن تخفيضها أكثر الأحيان بإضافة الجير، لقد وضح Crooke (1956) بأن نتيجة التأثير من معادلة التربة الحامضية وليس بسبب الزيادة في تركيز الكالسيوم بذاته، إن إضافة الجير لا يخفض فقط تيسر النيكل والكروم بل يرفع أيضاً النسبة التبادلية المنخفضة للكالسيوم إلى الماغنسيوم. إضافة البوتاسيوم يخفض أيضاً ظهور سمية النيكل لكن أسمدة الفوسفات المضافة يكون لها تأثير عكسي ((Crooke and Inkson (1955).

عادةً محتوى النيكل للمادة النباتية الجافة حوالي 0.1 – 5 جزء في المليون. في الترب السربنتين قد تحتوي بعض أنواع النباتات على قيم تتعدى 200 جزء في المليون والذي يكون ساماً للنباتات غير المتأقلمة لهذه الترب.

في تجربة محاصيل غذائية في تربة رملية أضيف لها مستويات متزايدة من النيكل وجد أن تراكيز النيكل في المادة الجافة للنبات تباينت من 1إلى 1000 جزء في المليون (Vergnano and Hunter (1952)). أعراض سمية النيكل على الشوفان كمحصول حساس كانت ملاحظة على النباتات بمحتوى تعدى 100 جزء في المليون (Crooke (1956)) ويكون امتصاص النباتات القليلة الحساسية منخفضاً. يبدو أن النيكل على الأخص متحرك في اللحاء فبعد امتصاصه بكميات كبيرة ينتقل إلى البذور والفاكهة (Mitdnell et al. (1978), Calaldo et al. (1978)).

إن إمكانية الفائدة الحيوية للنيكل كونه من المغذيات الصغرى الضرورية للحيوان اقتُرحت حديثاً بوساطة (Welch (1981. لقد أقترح أن النيكل يكون ضروري للحيوانات. على أي حال فكونه ضرورياً أيضاً للنباتات فمازال مسألة تخمين. لقد تم توضيح أن النيكل جزء مكمل لأنزيم اليوريز Urease المعزول من بذور الفاصوليا الصغيرة الحجم Jack bean (Dixon et al. (1975)).

علاوة على ذلك فقد بين عدد من الباحثين أن النباتات تحتاج للنيكل عند استخدام اليوريا كمصدر وحيد للنيتروجين (Cordon et al. (1978)). هناك الكثير من أنواع النباتات تتضمن البقوليات المثبتة للنيتروجين (مثل فول الصويا) تجمع كميات كبيرة من اليورات Ureides (Streeter (1979)). لقد ناقش (Welch (1981 أنه في التفاعلات اللاهوائية تحتاج لمثل هذه النباتات لإنزيم اليوريز وبالتالي النيكل لأجل استخدام كامل للنيتروجين الموجود في هذه المركبات.

6.20 الكروم Chromium

هناك اهتمام كبيرة بالكروم بعد اكتشاف أنه يدخل في أيض الجلوكوز ويظهر أنه ضروري للإنسان والحيوان ((Lisk (1972) لكن لا توجد أدلة على أن للكروم دوراً ضرورياً في أيض النبات ((Huffman and Allaway (1973). أن مستويات الكروم الكلي في الصخور النارية والرسوبية تكون دائماً في مدى يصل إلى حوالي أعلى من 100 جزء في المليون، إن معظم الترب تحتوي على أقل من 100 جزء في المليون رغم أن الترب المشتقة من السربنتين يمكن أن تحتوي على عدة نسب مئوية من الكروم. إن كروم الترب لا يكون ميسراً بدرجة كبيرة للنباتات لأنه يوجد في مركبات غير ذائبة نسبياً مثل الكروميت Chromite $FeCr_2O_4$، وفي أكاسيد مخلوطة للكروم والألمنيوم والحديد أوفي صفائح السيلكيات. بالإضافة إلى أن الكروم يُربط بشدة إلى المواقع ذات الشحنة السالبة على الطين والمادة العضوية، إن وجود الكرومات (الكروم سداسي التكافئ Hexavalent Cr) من النادر نسبياً وتكون في حالة مستقرة فقط في الظروف القلوية المؤكدة ((Allaway (1968) يكون معدل امتصاص وانتقال الكروم في النباتات منخفضاً. فقد وجد ((Tiffin (1972) في دراسة الامتصاص للكلوريد الكروم $CrCl_3$ بوساطة نباتات الطماطم المقطوعة من المحاليل المغذية أن محتويات الكروم في إفرازات الخشب حوالي 10 % من مستويات الكروم في المحلول المغذي. إن النتائج تدل على انخفاض معدل الامتصاص بما يسمح بأن بعض الكروم قد يصبح مرتبطاً مع مواقع التبادل في الجذور. هذا مع ضعف تيسره في التربة يعني أن انخفاض

مستويات الكروم تكون موجودة في المادة النباتية وهذا يكون عادةً حوالي 0.02 إلى 1 جزء في المليون.

لقد لوحظت التأثيرات السامة في الشوفان المزود بمستويات الكروم أعلى من 5 جزء في المليون على شكل كبريتات الكروم ((Hanter and Vergnano (1953)). إن النباتات التي تعاني من سمية الكروم الحادة تكون جذورها صغيرة والأوراق رفيعة وذات لون أحمر بني ومغطاة ببقع صغيرة متنكرزة. عدم الخصوبة الحاد في بعض ترب السربنتين قد ينتج من سمية الكروم بالرغم من أن العوامل الأخرى تكون متداخلة. لقد نوقشت سمية الكروم والعلاقة مع ترب السربنتين بوساطة ((Pratt (1966)).

7.20 السيلنيوم Selenium

إن السيلنيوم يشبه الكبريت في خواصه الكيميائية، ففي عملية الامتصاص يوجد تأثير تنافسي بين أيونات السيلينات والكبريتات بالانجذاب على مواقع نفس الحامل ((Leggett and Epstein (1956)). إن دمج السيلنيوم في الأحماض الأمينية مرادف لاندماجات الكبريت (سيلينوميثونين Selenomethionine وسيلينوسيستين Selenocysteine). وقد لوحظت في عدد من أنواع النباتات (Pertersen and Butler (1962)).

هناك تأثيرات تحفزية لتراكيز السيلنيوم المنخفضة على نمو النبات تظهر أحياناً لكن التأثيرات السامة من زيادة السيلنيوم معروفة كثيراً والتي تسبب تقزماً واصفراراً ويعاق النمو ويزداد محتوى السيلنيوم في القمم النامية والبذور على وجه الخصوص، وقد يصل محتواها من

السيلنيوم إلى أعلى من 1500 جزء في المليون ((Trelease (1945). إن أسباب سمية السيلنيوم مازالت غير واضحة ومن المعروف بصورة موسعة أن مركبات السيلنيوم تتداخل مع أيض الكبريت عن طريق الإحلال لكن السيلنيوم لا يقدر أن يحل محل الكبريت في كل الوظائف الأيضية. في الحقيقة يوجد في بعض أنواع النباتات مؤشرات بأن السيلنيوم يتبع اتجاهات أيضية معينة ليست مفتوحة للكبريت ((Shrift (1969).

يوجد السيلنيوم في معظم الترب في تراكيز منخفضة جداً وأكثر الأحيان يكون أقل من 0.2 جزء في المليون، تيسر السيلنيوم في الترب الحامضية والمتعادلة يكون منخفضاً ويوجد غالباً سيلبنيت Selenite والذي قد يثبت في صورة سيلينت الحديد Ferric selenite ويمكن أيضاً أن يشكل معقدات عضوية يمكن أن يوجد هذا العنصر في الترب في عدة حالات أكسدة وأعتماداً على الجهد الريدوكس Redox potential والرقم الهيدروجيني للتربة وتأثيرات الأحياء الدقيقة ووجود أيونات أخرى ((Allaway (1968). إن النباتات تمتص السيلينيت Selenate الذي يوجد فقط تحت الظروف القلوية والتهوية الجيدة. وجهد الأكسدة والاختزال.

إن تلك الترب الغنية بالسيلنيوم ذات المستويات العالية من السيلينات توجد أساساً تحت ظروف المناخ الجاف، إن نباتات دليل السيلنيوم سيلينيفرس Seleniferous مثل الجلبانة اللبنية Milk vetches وأسطراغالس بيسلكاتس Astragalus bisulcatus وأسطراغالس بيكتياتس A.pectinatus تكون قاطنة في هذه الترب ويمكن أن تجمع هذه الأنواع كميات كبيرة من السيلنيوم بدون أي تأثير ضار على نموها ومن الشائع وصول

مستويات السيلنيوم فيها إلى عدة آلاف من الجزء في المليون. ((Ganje (1966). والأعشاب الأصلية النامية على نفس الترب تحتوي فقط على عدة أجزاء في المليون من السيلنيوم. إن اختلافات فيما بين النباتات في مقدرتها على تجميع ومقاومة السيلنيوم مازالت غير مبينة بوضوح. لقد اقترح بأن النباتات لا تجمع السيلنيوم غالباً يوجد فيها السيلنيوم في البروتينات ((Butler and petersen (1967) في حين أن النباتات المجمعة للسيلنيوم تكون لها القدرة على تمثيل الأحماض الأمينية غير البروتينية الحاملة للسيلنيوم وهذا يمنع السمية. لقد اقترح ((Virupaksha and Shrift (1965). بأن حامض البروتين الأميني سيلينوسيستيين Selenocysteine يتحول إلى سيلينوسستيئين مثل السيلنيوم وبهذه الطريقة لا يسبب السيلنيوم اضطرابا في أيض البروتين. باستخدام سيلينات مشع قد وجد نسبة كبيرة من النشاط الإشعاعي في بروتينات السيلنيوم المتراكم في نباتات (استراجالس بيسيلكاتس) Astragalus bisulcatus ((Mijam and Maconnell (1976) وقد اقترحوا أيضاً بأن الاختلافات في سمية السيلنيوم في اتجاه أنواع النباتات تكون صعبة التفسير للاختلاف في داخل الأنواع من حيث عملية الدمج في البروتين.

إن تأثير السيلنيوم في تغذية الحيوان تكون ذات أهمية خاصة حيث يكون السيلنيوم عنصر ضرورياً للحيوانات وتحتاجه بتركيزات منخفضة جداً، إن نقص السيلنيوم قد أعطى زيادة في إعاقة العضلات Muscular dystrophy في الحيوان والمعروف باسم مرض العضلات البيضاء White Muscular dystrophy، مع سقوط الشعر والريش لقد اقترح ((Allaway (1968) بأن من الأفضل التحكم في مستويات السيلنيوم في التغذية ومحاصيل

العلف لتكون في مدى بين 0.1 – 1 جزء في المليون وفي المسح في الولايات المتحدة الأمريكية الذي بين أن ثلث محاصيل العلف ومحاصيل الحبوب كانت أقل من المستوى الأمثل المذكور عند تراكيز عالية تزيد عن حوالي 5 جزء في المليون في عليقة الحيوان يكون هناك خطر من سمية السيلنيوم وهذا يسمى بمرض القلوي Alkali disease في حيوانات المزرعة ويحدث في الترب القاعدية الغنية بالسيلنيوم. في الحالات الحادة من المرض يتساقط الشعر والريش وفي الأبقار قد يؤدي إلى تشوهات للحوافر والأسنان. هناك تنافس بين السيلينات والكبريتات عند عملية امتصاص النبات حيث يقل امتصاص السيلينات بإضافة الكبريتات وهذا يعتبر معاملة مهمة لعلاج الترب ذات سمية السيلنيوم.

8.20 الرصاص Lead

إن الرصاص يكون الملوث الكيميائي الرئيسي للبيئة وهو سام جداً للإنسان حيث لا يوجد ملوث آخر يتراكم في الإنسان مثله بمستويات قريبة التي تكون ذات احتمال سام طبياً.

إن المصدر الرئيسي للتلوث بالرصاص يأتي من احتراق البترول وحسب Lagerwerff (1972) فإن هذا المصدر يمثل حوالي 80 % من الرصاص، الكلي في الهواء الجوي ويضاف الرصاص للبترول كرصاص رباعي الأثيل Tetra ethyl lead ويخرج كدخان عادم في صورة حبيبات دقيقة من مركبات الرصاص غير العضوي وأن حوالي 50 % من هذه المركبات تسقط في مناطق تبعد عن الطريق حوالي 100 متر والباقي يكون موزعاً ومنتشراً في المحيط الحيوي. هناك دليل من لنتائج يبين زيادة مفاجئة في محتوى الجليد من الرصاص على

مدى 30 سنة في العينات المأخوذة من النهر الجليدي في شمال جرينلاند وأن هذه الزيادة يجب أن يكون معظمها راجع إلى الزيادة في استخدامات حرق البترول، إن المناطق الصناعية تكون ملوثة على الأخص بمحروقات الرصاص في الهواء الجوي.

في مانشستر كمدينة صناعية كبيرة في بريطانيا على سبيل المثال قد لوحظ أن مستويات الرصاص في المنطقة حوالي 1000 جزء في المليون في غبار الشوارع ((Day et al. (1975). إن متوسط الرصاص في الترب هو حوالي 15 جزء في المليون، ووجد أن مستويات الرصاص ترتفع لدرجة كبيرة في دم الإنسان بالقرب من طرق السيارات.

إن تسمم الإنسان بالرصاص يحدث أيضاً بتلوث الماء من أنابيب الرصاص وهذا يعتبر مصدراً مهماً لتلوث الرصاص. يعتبر الرصاص ساماً لأنه يتشابه في الكثير من المظاهر الأيضية لسلوك الكالسيوم ويثبط الكثير من الأنظمة الأنزيمية إن من أهم الاعتبارات الرئيسية لسمية الرصاص يكون تأثيره الضار على الدماغ خاصةً للأطفال، هناك أدلة بأن تلوث الرصاص يحفز السلوك العدواني في الحيوانات، واعتقد كذلك بأن هذا السلوك قد يحدث للإنسان ولقد قدم كل من ((Bryce - Smithanel Waldron (1974) حالة قوية تتضمن الرصاص كأحد العوامل المسبب لزيادة معدل الجريمة في المدن الصناعية الكبيرة.

يجب أن نتذكر بأن الهواء الجوي من وجهة نظر تغذية النبات هو من المصادر الرئيسية التي يأتي بها التلوث بالرصاص. إن المحتوى الكلي للرصاص في الترب الزراعية يقع بين 2 إلى 200 جزء في المليون، وتكون الترب ذات المستويات الأعلى من ذلك محدودة في مناطق قليلة نسبياً يوجد بها ترسبات معدن الرصاص، وفي مثل هذه الترب يوجد الرصاص في

الآفاق العليا وقد يصل إلى 3000 جزء في المليون. يمكن أن تنتج التأثيرات السامة للرصاص نقصاً في نمو النبات لكن عموماً فإن هذا لم يشاهد في الحقل وأغلب الملاحظات الفاصلة عن سمية الرصاص للنباتات قد تحددت بتجارب المحاليل الغذائية ((Brewer (1966).

لقد أجرى ((Page et al. (1971). دراسة مكثفة على طريق السيارات لسنتاآنا في جنوب كاليفورنيا Santa Ana freeway in S - calif حيث أنها مزدحمة جداً بالسيارات بكثافة تصل إلى 70000 في 24 ساعة وقد تم تحليل الرصاص المتساقط والمحتوى لعدد (27) محصولاً على أبعاد مختلفة من الطريق وقد كانت النتيجة بأن محتوى التلوث بالرصاص يعتمد على عدة عوامل منها المسافة عن الطريق، وطبيعة سطح النبات المجمع، وفترات التعرض للتلوث وكثافة المرور واتجاه الرياح بين الكثير من الباحثين، أن التلوث بالرصاص يكون واضحاً جداً في المساحات المجاورة لطرق السيارات، وقد تصل مستويات الرصاص في الغطاء النباتي على جانبي الطرق إلى 50 جزءاً في المليون لكن على مسافة 150 متراً فقط عن الطريق يكون المستوى طبيعياً وهو حوالي 2 أو 3 جزءاً في المليون إن التلوث يحدث فقط على الجزء الخارجي لبذور النبات أو الأوراق والسيقان والجزء الكبير يمكن إزالته بالغسيل. إن مستويات الرصاص في الحبوب والدرنات والجذور يكون تأثيرها ضئيلاً جداً ولا تتباين كثيراً عن المستويات الطبيعية للأنسجة وهو حوالي 0.5 جزء في المليون ((Foy et al. (1978).

إن تلوث الترب بالرصاص الذي يصلها عن طريق الهواء الجوي يكون دائماً محصوراً في بضع سنتيمترات من الطبقة السطحية لمقطع التربة ((Heilenz (1970). يرجح إن هذا الاحتفاظ في الجزء العلوي لمقطع التربة له علاقة بإدمصاص الرصاص القوي للغرويات

العضوية والطين لتكوين مخلبيات رصاص غير ذائبة مع المادة العضوية (Lagerwerff (1972)). إن تيسر رصاص التربة يكون عادةً منخفضاً ويمكن أن يقل أكثر بإضافة الجير قد يؤدي ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة إلى ترسيب الرصاص على هيئة هيدروكسيد وفوسفات أو كربونات ومن المحتمل كذلك أن يحفز تكوين معقدات رصاص مع المادة العضوية. إن زيادة مستويات الكالسيوم يرفع المنافسة مع الرصاص على مواقع التبادل على الجذور وأسطح التربة.

إن السبب لسمية الرصاص في النباتات ليست واضحة لكن هناك معلومات كثيرة عن التأثير الضار للرصاص في تغذية الحيوان ((Bryce-Smith (1975)). تتداخل سمية الرصاص في الحيوانات مع أيض الحديد وتكوين الهيم Haem، ويثبط الرصاص عمل خطوتين في تحويل الأمين– ليفولنك (δAmino - Laevulnic acid) إلى هيم (أنظر 1.13).وكذلك يوقف أنزيم ALA دهيدروجينيز ALA dehydrase في تحويل حامض الليفولنك (ALA) على بورفوبيلينوجين (PBG) Porphobilinogen يمنع الرصاص تكوين الهيم من كوبروبورفيرينوجن Coproporphyringen Ⅲ. هناك زيادة كبيرة في مستويات حامض (ALA) زكوبروبروفرين Coproporphyrin Ⅲ (ناتج أكسدى كوبروبورفيرينوجين Ⅲ). في دم وبول مرضى التسمم بالرصاص ليس من المعروف فيما إذا كان للرصاص نفس التأثير على تكوين الهيم في خلايا النبات. على الرغم من ذلك فالرصاص العضوي يشكل رصاصاً ثلاثي الألكيل Tri - alkyl Pb الذي يكون عاملاً قوياً لإحداث تغيرات وراثية ومعروف بأنه يفسد ميكانيكية حزم الألياف لخلايا النبات والحيوان ((Bryce-Smith (1975)).

يتراكم الرصاص الذي يمتصه النبات في جدار الخلية وهذا يحافظ على الخلية من التأثيرات السامة. لقد بين Malone et al. (1974) أن الرصاص يتركز في أوعية الديكيتوزوم Dictyosome vesicles التي تندمج مع بعض لتغطي ترسبات الرصاص في نباتات الذرة. هذه الترسبات تزال من سيتوبلازم الخلية إلى خارج صفائح البلازما لتندمج مع جدار الخلية.

9.20 الكادميوم Cadmium

هناك أهمية كبيرة لدراسة علاقة الكادميوم بتغذية النبات وذلك للتشابه الكيميائي مع الزنك وأن الكادميوم قادر على تقليد سلوك هذا العنصر الضروري في امتصاصه ووظائفه الحيوية لكن الكادميوم سام للحيوانات والنباتات على حد سواء. إن السبب الأساسي للسمية يكون في الانجذاب القوي لمجموعات الهيدروجين–الكبريت (SH) في الإنزيمات والبروتينات الأخرى حيث وجود الكادميوم يعيق نشاط الأنزيمات، إن الزيادة في الكادميوم قد يسبب إعاقة أيض الحديد في النباتات ويظهر عليها الاصفرار.

في تغذية الحيوان تتراكم سمية الكادميوم وتخزن بصورة رئيسية في الكلى ولحدٍ ما كذلك في الكبد والطحال، إن الزيادة في الكادميوم ينتج عنه ضرر في أنابيب الكلى والتهاب الأنف (التهاب الغشاء المخاطي للأنف) Rhinitis وانتفاخ الرئة Emphysema (مرض مزمن للرئة وفيه تصبح الحجيرات الهوائية منتفخة) واضطرابات مزمنة أخرى في العمليات الحيوية، بالمقارنة مع الرصاص فإن الكادميوم لا يحفز اضطرابات الجهاز العصبي.

إن حالة تسمم الكادميوم المزمن الذي قد لوحظ في مدينة توياما Toyama في اليابان يعرف باسم مرض إيتي–إيتي Itai-Itai وجد أن الزيادة في الكادميوم في التغذية يعيق

وظيفة الكلى ويعرقل أيض الكالسيوم والفسفور ويسبب مرض العظام. المرض الذي يكون مؤلماً جداً بسبب زيادة في عدم المعدنة وهشاشة الهيكل العظمي. حيث لوحظ على الأخص عند النساء متوسطات العمر اللواتي استنزف الكالسيوم المخزون لديهن بواسطة تكرار الحمل إن سبب هذا المرض يرجع إلى التغذية على الأرز النامي على ترب ملوثة بالكادميوم من المناجم.

هناك قلق في الوقت الحالي بأنه تحت ظروف معينة قد يرتفع محتوى الكادميوم في النباتات ليصبح خطراً على الإنسان. إن مصادر الكادميوم في التربة متعددة، يضاف الكادميوم للترب بكميات ضئيلة جداً مع أسمدة الفوسفات (Williams and David (1973)). يوجد الكادميوم في أوحال المجاري مع المعادن الثقيلة الأخرى حيث أن محتويات هذه المواد بين الكادميوم يتراوح بين 10 إلى 1500 جزء في المليون في المادة الجافة (Berrow and Webber (1972)) حيث ازداد استعمال هذه المخلفات على الأراضي الزراعية ولكن مصاهر المعادن هي المصدر الرئيسي لتلوث البيئة بالكادميوم وخاصةً مصهرات الزنك فهي الأكثر خطورة، حيث أن نسبة الكادميوم للزنك في المادة الخام المنجم تكون دائماً حوالي 350:1 بالإضافة إلى أن الترب على طول جوانب الطرق تكون ملوثة بالكادميوم من الإطارات وعادم الزيوت (Lagerwerff (1972)). إن مستويات الكادميوم الطبيعية في مادة النبات تكون في مدى 0.1 – 1.0 جزء في المليون. التأثيرات السامة للكادميوم على الإنسان قد لوحظت من الاستهلاك المستمر للنباتات الحاوية على أكثر من 3 جزء في المليون كادميوم.

إن الكادميوم يختلف بدرجة كبيرة عن الرصاص، وبذلك فيمكن أن ينتقل بسرعة من التربة بوساطة جذور النبات إلى الأجزاء الخضراء العليا للنبات. إن تيسر الكادميوم يعتمد بدرجة كبيرة على الرقم الهيدروجيني للتربة ووجود أنواع الكاتيونات الأخرى. إن الكالسيوم والزنك على الأخص يخفضان امتصاص الكادميوم ويرجح أن يكون امتصاصه غير نشط سلبي والحركة في النبات تشبه حركة الكالسيوم على نفس المواقع التبادلية (أنظر 1.1.11) ينتقل الكادميوم في معظم أنواع النباتات في الأغصان عادةً يتناسب طردياً مع التركيز الخارجي ((Petterson (1976) Jones et al. (1975) لذلك فالانتقال من الأوراق للبذور يكون منخفضاً ومحتوى الكادميوم في محاصيل الحبوب من الترب المرتفعة التلوث يتعدى فقط جزء في المليون ((Sommer (1979). حسب ((Chaney and Hornick (1978) فهذا يكون مصدراً 50 % من الكادميوم في متوسط النظام الغذائي في الولايات المتحدة الأمريكية، هناك دليل بأن أنواع المحاصيل وأصنافها تتباين بدرجة كبيرة في امتصاص الكادميوم وبذلك تعطى دليلاً بإبقاء الكادميوم عند مستوى منخفض في منتجات النبات. هذه النقطة مع المظاهر العامة الأخرى لسمية المعادن الثقيلة قد نوقشت بوساطة Marschner (1982).

في الناحية العملية تعتبر مصادر تلوث الكادميوم محصورة في مناجم الزنك وأوحال المجاري ولا يوجد هناك دليل بأن الكادميوم سيصبح على العموم مصدر خطر. على الرغم من ذلك فاستخدام أوحال المجاري يجب أن يراقب بحذر، لقد وجد (Dijkshoorn and Lampe (1975). بأنه على الأقل امتصاص الكادميوم من أوحال

المجاري يكون منخفضاً بدرجة كبيرة عند نفس المستوى من ملح الكادميوم المضاف إلى التربة. إن فاعلية امتصاص الكادميوم من التربة هي أقل من امتصاصه من المحلول الغذائي.

قراءات عامة

General Reading

Chapters 14-20

AMBERGER, A.: (G) The role of manganese in the metabolism of plants. Agrochimica 17, 69-83 (1973).

BATEY, T.: Manganese and boron deficiency. In: Ministry of Agriculture Fisheries and Food, Trace E]ements in Soils and Crops, p. 137-148. Technical Bulletin 21, 1971.

BOWEN, H.J.M.: Trace Elements in Biochemistry, Academic Press, Inc., 1966.

BRADFORD, G.R.: Boron. In: H.D. CHAPMAN (ed.): Diagnostic Criteria for Plants and Soils, p. 33-61. University of California, Division of Agricultural Sciences (1966)

BREWER, R.F.: Lead. In: H.D. CHAPMAN (ed.): Diagnostic Criteria for Plants and Soils p. 213-217. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

CHAPMAN, H.D. (ed).): Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University or Calirornia, Division of Agricultural Sciences, 1966.

CHENG, B. T.: Dynamics of soil manganese. Agrochimica 17, 84-95 (1973).

CHENG, B. T. and OUELLETTE, G. T.: Molybdenum as a plant nutrient. Soils and Fertilizers, 36, 207-215 (1973).

DAM KOFOED, A.: Copper and its utilization in Danish agriculture. Fertilizer Research I. 63-71 (1980) DAVIES, B.E. (ed.): Applied Trace Elements. J. Wiley, 1980.

EPSTEIN, E.: Mineral Nutrition of Plants. Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto 1971.

Foy, C.D.: Effects of aluminium on plant growth. In: E.W. CARSON (ed.): The Plant Root and its Environment, p. 601-642. University Press of

Virginia, Charlottesville, 1974.

Foy, C.D., CHANEY, R.L. and WHITE, M.C.: The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 511-566 (1978).

GAUCH, H. G.: Inorganic Plant Nutrition, p.243-259. Dowden Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pa, USA (1972).

GUPTA, U .C.: Boron in nutrition of crops. Adv. Agron. 31, 273-307 (1979).

HEWITT, E.J. and SMITH, T.A.: Plant Mineral Nutrition. English University Press, 1975.

IVANOVA, N. N.: Molybdenum in plant nutrition. Agrochimica, 17, 96-118 (1973).

JACKSON, J.F. and CHAPMAN, K.S.R.: The role of boron in plants. In: D.J.D. NICHOLAS and A.R. EGAN (eds.): p. 213-225. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, Academic Press (1975).

JOIINSON, C. M.: Selenium in soils and plants: Contrasts in conditions providing safe but adequate amounts of selenium in the food chain. In: D.J.D. NICHOLAS and A.R. EGAN ds(e): Trace Elements in Soil-Plant-Animal System. p. 165-180. Academic Press. London. New York, San Francisco. 1975.

JONES, L. H. P. and HAND RECK, K. A.: Silica in soils plants and animals., Adv. in Agron., 19,107-149 (1967).

LAGERWERFF, J. V.: Lead mercury and cadmium as environmental contaminants, p.593-636. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin, USA, 1972.

LEWIN, J.C. and REIMANN, B.E.F.: Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol., 20, 289-304 (1969).

LINDSAY, W.O.: Zinc in soils and plant nutrition. Adv. in Agronomy 24,147-186 (1972). LINDSAY, W.L.: Chemical Equilibria in Soils. Wiley, 1980.

LONERAGAN, J.F., ROBSON, A.D. and GRAHAM, R.D. (eds.), Copper in Soil and Plants. Academic Press, London, New York and San

Francisco 1981.
MARTIN, J.P.: Bromine. In: H.D. CHAPMAN (ed.): Diagnostic Criteria for Plants and Soils, p. 62-64. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.
MCKENZIE, R.M.: The mineralogy and chemistry of soil cobalt. In: D.J.D. NICHOLAS and A.R. EGAN: Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, p. 83-93. Academic Press. MITCHELL, R. L.: Soil aspects of trace elements problems in plants and animals. J. Rl. Agric. Soc. 124, 75-86 (1963).
MITCHELL, R.L.: Cobalt in soil and its uptake by plants. Agrochimica, 16, 521-532 (1972).
MORDVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. and LINDSAY, W.L.: Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, U.S.A., 1972.
NICHOLAS, D. J. D. and EGAN, A. R.: Trace Elements in Soil-Plant-Animal systems. Academic Press, Inc., London, New York, San Francisco 1975.
NRIAGU, J.O.: Copper in the Environment, 2 vols., Wiley, 1979.
NRIAGU, J.O.: Cadmium in the Environment. 2. vols., Wiley, 1980.
OKUDA, A. and TAKAHASHI, E.: The role of silicon. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant, p. 123-146. Proc. Symp. Intern. Rice Res. Inst., John Hopkins Press, Baltimore, USA 1965.
PAGE, A.L., GANJE, T.J. and JOSHI, M.S.: Lead quantities in plants, soils and air near some major highways in Southern California. Hilgardia, 41, 1-31 (1971).
PEISACH, J., AISEN, P. and BLUMENBERG, W.E.: The Biochemistry of Copper. Academic Press, London and New York (1966)
PRICE, C. A., CLARK, H. E. and FUNKHOUSER, H. E.: Functions of micronutrients in plants, In: Micronutrients in Agriculture, p. 31-42. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin 1972.
SAUCHELLI, V.: Trace Elements in Agriculture. Van Nostrand Reinhold

Company, New York, 1969.

SCHUTTE, K. H.: The Biology of the Trace Elements. Their Role in Nutrition. London, Crosby and Lockwood, 1964.

SHKOLNIK, M. Y.: General conception of the physiological role of boron in plants. Physiol. Rastenii, 21,140-150 (1974).

SHRIFT, A.: Aspects of selenium metabolism in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 20, 475-494 (1969).

SWAINE, D.J.: The Trace Element Content of Soils. Commonwealth Bureau of Soil Science Tech. Comm., No.48, 1955.

VANSELOW, A.P.: Cobalt. In: H.D. CHAPMAN (ed.): Diagnostic Criteria for Plants and Soils, p. 14.-156. University of California, Division of Agricultural Sciences, 1966.

المراجع

References

Publications not written in English are indicated by a letter in parenthesis. (D) - Danish text

(F) = French text

(G) = German text

(N) = Dutch text

(P) = Polish text

(R) = Russian text

(Ru) = Rumanian text

(Y) = Yugoslavian text

ABOU-KHALED, A., HAGAN, R.M. and DAVENPORT, D.C.: Effects of kaolinite as reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water use efficiency. Water Resource Res. 6, 280-289 (1970)

ACEVEDO, E., HSIAO, TH. C. and HENDERSON, D. W.: Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. Plant Physiol. 48, 631-636 (1971)

ACQUAYE, D.K., MACLEAN, A.J. and RICE, H.M.: Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. Soil Sci. 103, 79-90 (1967)

ADAMS, F.: Soil solution, p. 441-481, in E. W. Carson: The Plant Root and its Environment, University Press of Virginia (1974)

ADAMS, F. and LUND, Z. F.: Effect of chemical activity of soil solution aluminium on cotton root penetration of acid subsoils. Soil Sci. 101, 193-198 (1966)

ADDISCOTT, T. M.: Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants. J. Sci. Fd Agric. 25, 1173-1183 (1974)

ADEPTU, J.A. and AKAPA, L.K.: Root growth and nutrient uptake

characteristics of some cowpea varieties. Agron J. 69, 940-943 (1977)

ADJEI-TWUM, D.C. and SPLITTSTOESSER, W.E.: The effect of soil water regimes on leaf water potential, growth and development of soybeans. Physiol. Plant. 38, 131-137 (1976)

ADRIANO, D. c., PAULSEN, G. M. and MURPHY, L. S.: Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (Zea mays L.) seedlings as affected by mineral nutrition. Agron. J. 63, 36-39 (1971)

AGARWALA, S.C. and HEWITT, E.J.: Molybdenum as a plant nutrient. J. Hort. Sci. 29, 291-300 (1954)

AGARWALA, S. C. and HEWITT, E.J.: Molybdenum as a plant nutrient. III. The interrelation ships of molybdenum and nitrate supply in the growth and molybdenum content of cauliflower plants grown in sand culture. J. Hort. Sci. 29, 278-290 (1954)

AGARW ALA, S. C. and HEWITT, E. J.: Molybdenum as a plant nutrient. V. Effect of molybdenum supply on thc growth and composition of cauliflower plants given different sources of nitrogcn supply in sand culturc..I. Hort. Sci. 30, 163-180 (1955)

AGARWALA, S.c. and HEWITT, E..I.: Molybdcnulll as a plant nutricnt..I. Hort. Sci. 30,151-162 (1955)

AGBLE, W. K.: Agronomic practices under favourable rain-fed conditions, p.466-473, in Proc. 1. FAOjSIDA Seminar for plant scientists from Africa and Near East, Cairo 1973. F AO, Rome 1974

AHTI, E.: Correcting stem girth measures for variations induced by soil moisture changes. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 78.4, Helsinki (1973)

AKAZAWA, T.: Ribulose-I,5 bisphosphate carboxylase. In: Photosynthesis II, Encycl. Plant Physiol. New Series Vol 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 208-229. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979

AKTAS, M. and VAN EGMOND, F.: Effect of nitrate nutrition on iron utilization by an Fe efficient and an Fe inefficient soyb:::an cultivar Plant and Soil 51, 257-274 (1979).

ALBERDA, T.: Crop photosynthesis: methods and compilation of data obtained with a mobile field equipment. 3. Perennial ryegrass. p. 4-11. Agr. Res. Rep. 865 Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen 1977

ALBERT, L.S.: I nduction and antagonism of boron-like deficiency symptoms of tomato plants by selected nitrogen-bases. Plant Physiol. 43, S-51-4 : 15 (1968)

ALBERT, L. S. and WILSON, C M.: Effect of boron on elongation to tomato root tips. Plant Physiol. 36,244-251 (1961)

ALLAWAY. W.H.: Trace element cycling. Adv. Agron. 20, 235-274 (1968)

ALLEN, S. E., TERMAN, G. L. and HUNT, C M.: Soluble and slow-release nitrogen fertilizer effects on grass forage, as influenced by rate and placement. J. agric. Sci. 77, 397- 404 (1971)

ALLISON, F. W.: The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron. 18, 219-258 (1966) ALTHER, L.: Organic farming on trial. Natural History 81, 16-24 (1972)

ALTHERR, E. and EVERS, F.H.: (G) Effects of magnesia when fertilizing a spruce stand on bunter sandstone in the Odenwald. Allg. Forst- u. Jagdzeitung 146,217-224 (1975)

AMBERGER, A.: (G) The role of manganese in the metabolism of plants. Agrochimica 17, 69-83 (1973)

AMBERGER, A.: Protein biosynthesis and effect of plant nutrients on the process of protein formation. In: Fertilizer Use and Protein Production, p.75-89. [nt. Potash Inst. Bern, 1975

AMBERGER, A and AIGNER, H.: (G) Experimental results of a straw

application trial lasting eight years. Z. Acker- u. Pflanzenbau 130, 291-303 (1969)

AMBLER, J.E., BROWN, J.C and GAUCH, H.G.: Effect of zinc on translocation of iron in soybean plants. Plant Physiol. 46, 320-323 (1970)

AMESZ, J.: Plastoquinone. In: Photosynthesis I, Encycl. Plant Physiol., New Series Vol. 5 (A. TREBST and M. ARNON eds.) p. 238-246. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977

AMIN, J. V. and JOHAM, H.E.: The cations of the cotton plant in sodium substituted potassium deficiency. Soil Sci. 105, 248-254 (1968)

ANDERSON, G. D.: Potassium response of various crops in East Africa, in Potassium in Tropical Crops and Soils, p. 287-309, Proc. 10th Coil. 1 nt. Potash I nst., Bern 1973

ANDERSON, J.W.: The function of sulphur in plant growth and metabolism, p. 87-97. In: Sulphur in Australasian Agriculture. Ed. McLachlan, Sidney Univ. Press 1975

ANDERSON, J. M. and PYLIOTlS, N. A.: Studies with manganese deficient chloroplasts. Biochim. Biophys. Acta 189, 280-293 (1969)

ANDREWS, T.J. and HATCH, M. D.: Activities and properties or ribulose diphosphate carbo. xylase from plants with the C4 dicarboxylic pathway of photosynthesis. Phytochemistry III. 9-15 (1971)

ANSARI, A. Q. and BOWLING, D.J.F.: Measurement of the transroot electrical potential 01 plants grown in soil. New Phytol. 71, 111-117 (1972)

ANTONIW, L.D. and SPRENT, J.I.: Primary metabolites of Phaseolus vulgaris nodules. Phyto' chemistry 17, 675-678 (1978)

ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A. D. and TURNER, R. G.: Heavy metal tolerancc in plants. Adv in Ecol. Res. 7,1-85 (1971)

APPELQVIST, L. A.: Lipids in Cruciferae. II. Fatty acid composition of Brassica napus seed as affected by nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur nutrition of the plants. Physiol. Plant. 21, 455-465 (1968)

ARIFIN, PERKINS, H. F. and TAN, K. H.: Potassium fixation and reconstitution of micaceous structures in soils. Soil Sci. 116,31-35 (1973)

ARISZ, W. H.: Significance of the symplasm theory for transport across the roots. Protoplasma 46, 1-62 (1956)

ARMSTRONG, M.J. and KIRKBY, E.A.: The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution Plant and Soil 52, 427-435 (1979)

ARNEKE, W.W.: (G) The effect of potassium on the components of the water potential and on the growth rate of PhaseD Ius vulgaris. Ph. D. Thesis, FB 19 Nutrition Sci. Justus Liebig-University, Giessen 1980

ARNOLD, P. W.: The potassium status of some English soils considered as a problem of energy relationships. The Fertilizer Sci., London, Proc. No. 72, 25-55 (1962)

ARNON, D.l.: Functional aspects of copper in plants, p. 89-114, in Copper metabolism. The Johns Hopkins Press, Baltimore 1950

ARNON, D.T.: Phosphorus and the biochemistry of photosynthesis. Agrochimica 3,108-139 (1959)

ARNON, D.I.: Cell-free photosynthesis and the energy conversion process, p.489-565, in Light and Life, ed. W.D. McElroy and Bentley Glass (John Hopkins Press) 1961

ARNON, D.I.: Photosynthetic activity of isolated chloroplasts. Physiol. Rev. 47,317-358 (1967)

ARNON, D.l. and STOUT, P. R.: The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant Physiol. 14,

371-375 (1939)

ARNON, D.I., FRATZKE, W.E. and JOHNSON, C M.: Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants. Plant Physiol. 17, 515-524 (1942)

ARNON, D. 1., LOSADA, M., WHATLEY, F. R., TSUJIMOTO, H. Y., HALL, D. O. and HORTON, A. A.: Photosynthetic phosphorylation and molecular oxygen. Proc. Nat. Acad. Sci. 47, 1314-1334 (1961)

ARNON, D.I. and WESSEL, G.: Vanadium as an essential element for green plants. Nature 172, 1039-1040 (1953)

ARNON, D.I.: Photosynthesis 1950-1975: Changing concepts and perspectives. In: Photo synthesis 1, Plant Physiol. New Series, Vol. 5 (A. TREBST and M. A VRON, eds.) p. 7-56. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977

ARNON, I.: Mineral Nutrition of Maize. Int. Potash Inst., Bern, 1975

ASHER, CJ. and OZANNE, P.G.: Growth and potassium content of plants in solution culture maintained at constant potassium concentrations Soil Sci. 103. 155-161 (1967)

ASHER, CJ. and OZANNE, P.G.: Individual plant variability in susceptibility to potassium deficiences: Some observations on capeweed (Arctotheca calendula L Levyus). Austr. J. Plant Physiol. 4,499-503 (1977)

ASWORTH, J., BRIGGS, G.G., EVANS, A.A. and MATULA, J.: Inhibition of nitrification by nitrapyrin, carbon disulphide and trithiocarbonate. J. Sci. Fd Agric. 28, 673-683 (1977)

ATANASIU, N.: (G) The law of growth factors and its importance for research and practical agriculture. Berlin, Sitzungsber. Bd. 111, Heft 15, Verlag S. Hirzel, Leipzig (1954)

ATKINS, CA., PATE, J.S. and SHARKEY, P.J.: Asparagine metabolism-key to the nitrogen nutrition of developing legume seeds. Plant Physiol. 56,

807-812 (1975)

ATKINSON, D.E.: The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with reed-back modifiers. Biochemistry 7, 4030-4034 (1968)

ATKINSON, R. J., POSNER. A.M. and QUIRK, J.P.: Kinetics of isotopic exchange of phosphate at the α-Fe OOH- aqueous solution interface. J. Inorg. Nucl. Chem. 34, 2201-22/1 (1972)

AUFHAMMFR, W. and SOLANSK Y. S.: (G) Influence or kinetin application on photosynthate storage in the ears or spring barley by kinetin application. Z. flanzcnertl. Aodcnk., Hert 4, 503-515 (1976)

AYED, LA.: A study in the mobilization of iron in tomato roots by chelate treatments. Planl and Soil 32,18-26 (1970)

AYRES, A. S.: Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. Soil Sci. 101, 216-227 (1966)

AYRES, A. S. and HAGIHARA, H. H.: Effectiveness of raw rock phosphate for sugar cane. So; 1 Sci. 91, 383-387 (1961)

BACH, M. K , MAGEE, W. F. and BURRIS, R. H.: Translocation of photosynthetic products I" soybean nodules and their role in nitrogen fixation. Plant Physiol. 33, 118-123 (1958)

BACHE, B.W. and IRELAND, C.: Desorption of phosphate from soils using anion exchang- resins. J. Soil Sci. 31, 297-306 (1980)

BACHTHALER, G.: (G) Effects of chlorocholine-chloride (CCC) foliar application on winter and spring wheat grown on sites with high rainfall. Z. Acker- u. Pflanzenbau 126, 357-3X2 (1967)

BACHTHALER, G. and WAGNER, A.: (G) Long term field trial compari,ng straw incorporation and straw burning on different sites. Bayr. Landw. Jahrb. 50, 436-461 (1973)

BADEN, W.: (G) Adequate potash and phosphate application to organic soils.

Kali-Brick. Fachgeb. 7, 1. Folge (1965)

BAKER, D. A. and WEATHERLEY, P.E.: Water and solute transport by e xuding root systems of Ricinus communis. J. expo Bot. 20, 485-496 (1969)

BALCAR, J., BREZINOVA-DoSKAROVA, ALENA and EDER, J.: Dependence of radiostrontiunl uptake by pea and lupin on the content of calcium in the nutrient solution. BioI. plant. 11. 34-40 (1969)

BALFOUR, E.: The Living Soil and the Haughley Experiment. Faber and Faber, p. 278. London 1975

BALKE, N. E. and HODGES, T. K.: Plasma membrane adenosine triphosphatase of oat root. Plant Physiol. 55, 83-86 (1975)

BANGERTH, F.: Calcium-related physiological disorders of plants. Ann. Rev. Phytopathol. 17. 97-122 (1979)

BANGERTH, F., DILLEY, D.R. and DEWEY, D.H.: Effect of postharvest calcium treatment Oil internal breakdown and respiration of apple fruit J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97, 679 - 6X2 (1972)

BAR-AKIVA, A.: Chemical and biochemical measurements on plants as a mean of controlling yield and plant performance, p. 211-219. ProC. 9th Congr. Int. Potash. Inst., Bern 1970

BAR-AKIVA, A., LAVON, R. and SAGIV, J.: Ascorbic acid oxidase activity as a measure of copper nutrition requirement of citrus trees. Agrochimica 14, 47-54 (1969)

BAR-A KIVA, A., SAGIV, J. and LESHEM, J.: Nitrate reductase activity as an indicator assessing the nitrogen requirement of grass crops. J. Sci. Fd Agric. 21, 405-407 (1970)

BAR-AKIVA, A. and STERNBAUM, J.: Possible use of nitrate reductase activity of leaves as a measure of the nitrogen requirement of citrus trees. PI. Cell Physiol. 6, 575-577 (1965)

BARANKIEWICZ, T.J.: COrexchange rates and HC photosynthetic products of maize leaves as affected by potassium deficiency. Z. Pflanzenphysiol. 89, 11-20 (1978)

BARBER, D.A.: Influence of microorganisms on assimilation of nitrogen by plants from sil and fertilizer sources. In: Nitrogen-I 5 in Soil Plant Studies, p. 91-101, IAEA, Vienna 1971

BARBER, D.A., EBERT, M. and EVANS, T.S.: The movement of 150 through barley and I'icc plants. J. Exp. Bot. 13, 397-403 (1962)

BARBER, D.A. and FRANKENBURG, U.C.: The contribution of microorganisms to theapparcnl absorption of ions by roots grown under non-sterile conditions. New Phytol. 70, 1027 (1971)

BARBER, D.A. and MARTIN, J.K.: The release of organic substances by cereal roots in soil. New Phytol. 76, 69-80 (1976)

BARBER, D. A. and SHONE, M. G. T.: The absorption of silica from aqueous solution by plants. J. expo Bot. 17, 569-578 (1966)

BARBER, J.: Light induced uptake of potassium and chloride by Chlorella pyrenoidosa. Nature 217,876-878 (1968)

BARBER, S. A.: A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. Soil Sci. 93, 39-49 (1962)

BARBER, S. A.: Mechanism of potassium absorption by plants, p. 293-310. In: KILMER et al.: The Role of Potassium in Agriculture, Madison, USA (1968)

BARBER, S. A.: Influence of the plant root on ion movement in the soil, p. 525-564. In: E. W. CARSON: The Plant Root and its Environment, University Press of Virginia (1974)

BARBER, S.A.: Growth requirements of nutrients in relation to demand at the root surface. In: The Soil-Root Interface (J.L. HARLEY and R. SCOTT RUSSELL, cds.) p. 5-20. Academic Press London, New York, San

Francisco 1979
BARBER, S. A., WALKER, J. M. and VASEY, E. H.: Mechanism for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. J. Agr. Food Chem. 11, 204-207 (1963)
BARBER, W. D. and THOMAS, W.l.: Evaluation of the genetics ofrelative phosphorus accumula tion by corn (Zea mays L.) using chromosomal translocations. Crop Sci. 12, 755-758 (1972)
BARDZIK, J. M., MARSH, H. V., jr. and HAVIS, J. R.: Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. Plant Physiol. 47, 828-831 (1971)
BARKER, A. V., MAYNARD, D. N., MIODUCHOWSKA, H. and BUCH, A.: Ammonium and salt inhibition of some physiological processes associated with seed germination. Physiol. Plant. 23, 898-907 (1970)
BARKER, C. and HILDITCH, T. P.: The infJuence of environment upon the composition of sunflower seed oils. J. Sci. Fd Agric. 1, 118-121 (1950)
BARLEY, K.P.: The configuartion of the root system in relation to nutrient uptake. Adv. Agrol1. 22,159-201 (1970)
BARLEY, K. P. and ROVIRA, A. D.: The influence of root hairs on the uptake of phosphate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1, 287-292 (1970)
BARROW, N. J.: Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. Soil Sci. 109, 282-288 (1970)
BARROWS, H.L., TAYLOR, A. W. and SIMPSON, E. C.: Interaction of limestone particle size and phosphorus on the control of soil acidity. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 32, 64-68 (1968)
BARTHOLOMEW, W. W.: 15N in research on the availability and crop use of nitrogen. In: Nitrogen-I 5 in Soil Plant Studies, p. 1-20, IAEA, Vienna 1971
BARTLETT, R.J.: Iron oxidation proximate to plant roots. Soil Sci. 92,372-379

(1961)

BARTLETT, R.J. and RIEGO, D.C.: Toxicity of hydroxy aluminium in relation to pH and phosphorus. Soil Sci. 114, 194-200 (1972)

BARTLETT, R. J. and SIMPSON, T. J.: T nteraction of ammonium and potassium in a potassiumfixing soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 31, 219-222 (1967)

BARTON, R.: The production and behaviour of phytoferritin particles during senescence of Phaseolus leaves. Planta 94, 73-77 (1970)

BASSHAM, J.A.: The reductive pentose phosphate cycle and its regulation. In: Photosynthesis II. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, cds.) p. 9-30. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979

BASSHAM, J.A. and CALVIN, M.: The path of carbon in photosynthesis, p.104. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. Y. (1957)

BATEY, T.: Manganese and boron deficiency. In Trace Elements in Soils and Crops: Techn. Bull. 21, p. 137-149, Ministry of Agric., Fisheries and Food, UK (1971)

BAULE, I-I.: (G) Relationships between the nutrient content and diseases in forest trees. Landw. Forsell. 23/1. Sonderh., 92-104 (1969)

BAULE, H. and FRICKER, c.: The fcrtiliser treatment of forest trees. BL V-Verlagsges. Miinchen 1970

BAYZER, H. and M A YR, H. H.: (G) Amino acid composition of rye grain proteins influenced by nitrogen application and chlorine-choline-chloride. Z. Lebensmittel-Untersuchung 'I. -Forsch. 133,215-217 (1967)

BEAR, F.E. et at.: Hunger signs in crops, a symposium. The American Soc. Agron., The National Fertilizer Ass., Washington 1949

BEARDSELL, M. F. and COHEN, D.: Relationship between leaf water status, abscisic acid levels. stomatal resistance in maize and sorghum. Plant Physiol. 56, 207-212 (1975)

BECKETT, P. H. T. and NAFADY, M. H. M.: Potassium-calcium exchange equilibria in soils: The location of non-specific (Gapon) and specific exchange sites. Soil Sci. 18, 263-281 (1967)

BECKING, J. H.: A requirement of molybdenum for the symbiotic nitrogen fixation in alder. Plant and Soil 15, 217-227 (1961)

BEEVERS, L.: Nitrogen Metabolism in Plants. Edward Arnold, London 1976

BEEVERS, L. and HAGEMAN, R.H.: Nitrate reduction in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 20, 495-518 (1969)

BEEVERS, L. and HAGEMAN, R. H.: The role of light in nitrate metabolism in higher plants. p. 85-113. In: Photophysiology. Vol. VIT. Ed. A.C.Oiese, Academic Press London 1972

BELL, O. T., KOEPPE, D. E. and MILLER, R. J.: The effects of drought stress on respiration or isolated corn mitochondria. Plant Physiol. 48, 413-415 (1971)

BENDALL, D. S. and R. HILL: Haem-proteins in photosynthesis. Ann. Rev. Plant Physiol. 167-186 (1968)

BENEDICT, C. R. and BEEVERS, H.: Formation of sucrose from malate in germinating castor beans. 1. Conversion of malate to phosphoenoJ-pyruvate. Plant Physiol. 36, 540-544 (1961)

BENNETT, A. C.: Toxic effects of aqueous ammonia, copper, zinc, lead, boron, and manganese on root growth. In: E. W. CARSON, ed. The Plant Root and its Environment, p. 669-68. University of Virginia, Charlottesville 1974

BENNETT, A. C. and ADAMS, F.: Concentration of NH3 (aq) required for incipient Nill toxicity to seedlings. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 259-263 (1970) BENNETT, J.P.: Iron in leaves. Soil Sci. 60, 91-105 (1945)

BENSON, A. A.: On the orientation of lipids in chloroplasts and cell membranes. The Journal of the American Oil Chemists' Soc. 43, 265-

273 (1966)

BEN-ZIONI, A., ITAI, C. and V AADIA, Y.: Water and salt stresses, kinetin and protein synthesi, in Tobacco leaves. Plant Physiol. 42, 361-365 (1967)

BEN-ZIONI, A., VAADIA, Y. and LIPS, S.H.: Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. Physiol. Plant. 24, 288-290 (1971)

BERGER, K. c.: Micronutrient deficiencies in the United States. J. Agric. Food Chem. 178-181 (1962)

BERGERSEN, F.J.: Biochemistry of symbiotic nitrogen fixation in legumes. Ann. Rev. Plan 1 Physiol. 22, 121-140 (1971)

BERGMANN, W.: (G) Occurrence, diagnosis, and prevention of nutrient deficiency in crops. Dt. Landw. Verlag, Berlin (1960)

BERGMANN, W.: (G) Recommendations for establishing fertilizer application schemes for large areas of industrialized plant production according to soil tests. VEB Chemichal. 113 Berlin (1969)

BERGMANN, W. and NEUBERT, P.: (G) Plant Diagnosis and Plant Analysis. VEB Gust; Fischer Verlag Jena (1976)

BERINGER, H.: (G) Uptake and effect of the micronutrient copper applied in ionic and chelaled form to barley. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 100, 22-34 (1963)

BERINGER, H.: Influence of temperature and seed ripening on the ill vivo incorporation or 14C02 into the lipids of oat grains (Avena sativa L.). Plant Physiol. 48, 433-436 (1971)

BERINGER, H. and KOCH, K.: (G) Nitrogen metabolism in a normal and a lysine-rich baric, supplied with different levels of potassium. Landw. Forsch. Sonerh. 34/II, 36-44, Kongrcssband (1977)

BERINGER, H. and SAXENA, N. P.: (G) Effect of temperature on the content

of tocopherol in seed oils. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 120,71-78 (1968)

BERNSTEIN, L.: Osmotic adjustment of plants to saline media. 11. Dynamic phase. Amer. J. Bot. 50 (4), 360-370 (1963)

BERNSTEIN, L.: Salt tolerance of plants. Agric. Inform. Bull. No. 283 (1970)

BERNSTEIN, L. and HAYWARD, H. E.: Physiology of salt tolerance. Ann. Rev. Plant Physiol. 9, 25-46 (1958)

BERROW, M.C. and WEBBER, J.: Trace elements in sewage sludges. J. Sci. Food Agr. 23, 93-1000 (1972)

BESFORD, R.T.: A phosphatase as a potential indicator of the phosphorus status of the glasshouse cucumber (Cucul11is sativus). J. Sci. Fd. Agric 29,87-91 (1978)

BETHLENFALVAY, OJ. and PHILLIPS, D.A.: Interactions between symbiotic nitrogen fixation, combined N application, and photosynthesis in Pisul11 sativul11. Physiol. Plant. 42, 119-123 (1978)

BHANGOO, M.S. and ALBRITTON: Effect of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and nutrient content of 'Lee' soybeans. Agron. J. 64, 743-746 (1972)

BHAT, K. K. S. and NYE, P.H.: Diffusion of phosphate to plant roots in soil. II. Uptake along the roots at different times and the effect of different levels of phosphorus. Plant and Soil 41, 365-382 (1974)

BHAT, K.K.S. and NYE, P.H.: Diffusion of phosphate to plant roots in soil. III. Depletion around onion roots without root hairs. Plant and Soil 41, 383-394 (1974)

BHUIJA, Z.H. and WALKER, N.: Autotrophic nitrifying bacteria in acid tea soils from Bangladesh and Sri Lanka. J. appl. Bact. 42,253-257 (1977)

BIDDULPH, G.: Mechanisms of translocation of plant metabolites. In: Physiological Aspects of Crop Yield, p. 143-164. American Soc. of

Agron., Madison, Wisconsin, USA 1969
BIDDULPH, 0., NAKAYAMA, F. S. and CORY, R.: Transpiration stream and ascension of calcium. Plant Physiol. 36, 429-436 (1961)
BIEDERBECK, V.O., CAMPBELL, C.A., BOWREN, K.E. and McIvER, R.N.: Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. Soil Sci. Soc. Am. .I. 44, 103-III (1980)
BIELESKI, R. L.: Effect of phosphorus deficiency on levels of phosphorus compounds in Spirodeta. Plant Physiol. 43,1300-1316 (1968)
BINGHAM. F. T.: Relation between phosphorus and micronutrients in plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proe. 27, 389-391 (1963)
BINGHAM, F. T., ELSEEWI, A. and OERTLI, J. J.: Characteristics of boron absorption by excised barley roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 613-617 (1970)
BRKE, J.: (G) Agronomic aspects of the physiology of yield formation. Sitzungsberichtc Bd. XII, Heft 13, Dt. Akad. d. Landw. Wiss. zu Berlin (1966)
BIRNBAUM, E.H., DUGGER, W. M. and BEASLEY, B.C.A.: I nteraction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro. Plant Physiol. 59, 1034-1038 (1977)
BISHOP, N. J.: Partial reactions of photosynthesis and photoreduction. Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 185-208 (1966)
BISHOP, N.J.: Photosynthesis: The electron transportsystem of green plants. Ann. Rev, Biochem. 40, 197-226 (1971)
BJALFVE, G.: The efl'ectiveness of nodule bacteria. Plant and Soil 18, 70-76 (1963)
BLANCHAR, R. W. and CALDWELL, A. C.: Phosphate-ammonium-moisture relationships in soils. II. Ion concentrations in leached fertilizer and effect on plants. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 3D, 43-48 (1966)

BLANCIIET, R., STUDER, R. and CIIAlJMONT, c.: (F) Some aspects of interactions in the water supply of plants. Ann. agron. 13, 93-110 (1962)

BLASER, R.E. and BRADY, N.C.: Nutrient competition in plant associations. Agron. .I. 42, 12H-135 (1950)

BLEVINS, D.G., HIATT, A. J. and LOWE, R.H.: The influence of nitrate and chloride uptake on expressed sap, pH, organic acid synthesis and potassium accumulation in higher plants. Plant Physiol. 54, 82-87 (1974)

BLONDEL, A. and BLANC, D.: (F) Influence of ammonium ion uptake and reduction in young wheat plants. CR. Acad. Sci. (Paris) Ser. D, 277, 1325-1327 (1973)

BOARDMAN, N.K.: Trace elements in photosynthesis, p. 199-212. In: Trace Elements in SoilPlant-Animal Systems. NICHOLAS, ED., EGAN, D.J.D. and EGAN, A. R. Academic Press 1975

BOEHLE, J. jr. and LINDSAY, W.L.: Micronutrients. The Fertilizer Shoe-Nails. Pt. 6, In the Limelight - Zinc, Fertilizer Solutions 13 (I), 6-12 (1969)

BOHM, W.: (G) The assessment of the root system under field conditions. Kali-Briefe (Blintehof) 14 (2), 91-101 (1978)

BOGORAD, L.: The biosynthesis of protochlorophyll. In M.B. Allen (ed) Comparative biochemistry of photoreactive system, p. 227-256, Academic, New York (1968)

BOGUSLAWSKI, E. VON: (G) Law of yield formation. In: W. Ruhland: Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 4, p. 943-976, Springer-Verlag, Berlin, Gbttingen, Heidelberg (1958)

BOGUSLAWSKI, E. VON and GIERKE, K. VON: (G) Recent investigations into nutrient removal of some crops. Z. Acker- u. Pflanzenbau 112, 226-252 (1961)

BOGUSLAWSKI, E. VON and LACH G.: (G) The K release of soils measured by plant uptake in comparison with the exchangeable potassium. Z. Acker- u. Pflanzenbau 134, 135-164 (1971)

BOGUSLA WSKI, E. VON and SCHILDBACH, R.: (G) Effect of sites, years, fertilizer application and irrigation on quality and yield level of sugar beets. Zucker 22, 123-132 (1969)

BOLE, J.B.: Influence of root hairs in supplying soil phosphorus to wheat. Can. J. Soil Sci. 53. 196-175 (1973)

BOLT, G.H.: Ion adsorption by clays. Soil Sci. 79,267-276 (1955)

BOMMER, D. and DAMBROTH, M.: (G) Physiology of yield formation of crops growing in the temperate zone. In: Role of Fertilization in the Intensification of Agricultural Production. p. 95-111. Proc. 9th Congr. Intern. Potash Institute, Berne 1970

BOND, G.: Fixation of nitrogen in non-legumes with alnustype root nodules. In E.A. Kirkby: Nitrogen Nutrition of the Plant, p. 1-8, University of Leeds 1970

BORST, N.P. and MULDER, C: (N) Nitrogen contents, nitrogen fertilizer rates and yield or winter barley on sandy, clay, and silty soils in North Holland. Bedryfsontwikkeling 2. 31-36 (1971)

BOTHE, H.: Flavodoxin. In: Photosynthesis [, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. (A. TRI'BST and M. A VRON, eds.) p. 217-221. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977

BOULD, C. and TSAI-FUA CHIU: Mobility of calcium in fruit plants. In: 4th Int. Coil. on the Control of Plant Nutrition, Vol. I. (A. COTTENIE, ed.) p. 104-107. Gent (1976)

BOULD, C, NICHOLAS, D.J.D., TOLHURST, J.A.H. and WALLACE, T.: Zinc deficiencies or fruit trees in Britain. Nature 164: 801-882 (1949)

BOUMA, D.: Nutrient uptake and distribution in subterranean clover during

recovery frolll nutritional stresses. I. Experiments with phosphorus. Aust. J. bioI. Sci. 20: 601-612 (1967)

BOUMA, D.: Nutrient uptake and distribution in subterranean clover during recovery fro]ll nutritional stresses. IT. Experiments with sulphur. Aust. J. bioI. Sci. 20, 613-621 (1967)

BOVE, J.M., BOVE, C, WHATLEY, F. R. and ARNON, D.1.: Chloride requirement for oxygen evolution in photosynthesis. Z. Naturforsch. 18b, 683-688 (1963)

BOWDEN, J.W., POSNER, A.M. and QUIRK, J.P.: Ionic adsorption on variable charge mineral surfaces. Theoretical-charge development and titration curves. Austr. J. Soil Rcs. 15, 121 - 136 (1977)

BOWEN, G.D.: In: Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology. (G.C MARCKS and T.T. KOWSLOWSKI, eds.) p. 151-205. Academic Press, New York 1973

BOWEN, J. E.: Absorption of copper, zinc and manganese by sugar cane tisslie. Plant Physinl. 44, 255-261 (1969)

BOWEN, J. E. and NISSEN, P.: Boron uptake by excised barley roots. 1. Uptakc into the free space. Plant Physiol. 57, 353-357 (1976)

BOXMA, R.: Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. Plant and Soil 37, 233-243 (1972)

BOYD, D. A.: Some recent ideas on fertilizer response curves. In: Role of Fertilisation in the Intensification of Agricultural Production, p.461-473, 9th Congr. Int. Potash Inst., Bern 1970

BOYER, J. S. : Relationship of water potential to growth ofleaves. Plant Physiol. 43, 1056-1062 (1968)

BOYER, J. S.: Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Plant Physiol. 46, 233-235 (1970)

BRADFORD, G. R.: Boron in Diagnostic Criteria for Plants and Soils, p. 33-61, ed. H. D. Chapman, Univ. of California 1966

BRADSHAW, A. D.: Popu I ations of Agrostis tenuis resistant to lead and zinc poisoning. Nature 169, 1098 (1952)

BRADY, N.C.: The Nature and Properties of Soils. 8th ed. MacMillan Publishing Co., Inc. New York 1974

BRAG, H.: The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in Triticum aestivulll and Pisum sativulll. Physiol. Plant. 26, 250-257 (1972)

BRANTON, D. and DREAMER, D. W.: Membrane Structure. Springer-Verlag, Vienna 1972

BRAUER, A.: (G) Effect of fertilizer application on the digestibility and forage value of meadow hay. Landw. Forsch. 13, 201-216 (1960)

BRAUNSCHWEIG, L.C. v.: (G) Results of some years lasting field trials on t esting the optimum soil potassium status. Landw. Forsch. Sonderh. 35, 219-231 (1978)

BRAY, R.H. and KURTZ, L. T.: Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59,39-45 (1945)

BREISCH, H., GUCKERT, A. and REISINGER, G.: (F) Electromicroscopic studies on the apical zone of maize roots. Soc. bot. Tr. CoIl. Rhizosphere 122, 55 - 60 (1975)

BREMNER, I. and KNIGHT, A.H.: The complexes of zinc, copper, and manganese present in ryegrass. Brit. J. Nutr. 24, 279-290 (1970)

BREMNER, J. M.: Determination of fixed ammonium in soil. .I. agric. Sci. 52, 147-160 (1959)

BREMNER, .I.M.: Nitrogen availability indexes. In CA.Black: Methods of Soil Analysis. Agronomy 9,1324-1325 (1965)

BREMNER, .I.M.: Critique of soils and other sources of nitrous oxide. In:

Nitrogen in the Environment. Soil-Plant-Nitrogen Relationships, Vol. 2 (D.R. NIELSEN and J.G. MACDONALD, eds.) p. 477-491. Academic Press, 1978

BRETELER, H.: A comparison between ammonium and nitrate nutrition of young sugar-beet plants grown in nutrient solutions at constant acidity. I. Production of dry matter, ionic balance and chemical composition. Neth. .I. agric. Sci. 21, 227-244 (1973)

BRETELER, H.: Nitrogen fertilization, yield and protein quality of a normal and a high lysine maize variety. J. Sci. Fd Agric. 27, 978-982 (1976)

BRETELER, H. and SMIT, A. L.: Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nitrate in wheat. Neth. .I. agric. Sci. 22, 73-81 (1974)

BREVEDAN, E. R. and HODGES, H. F.: Effects of moisture deficits on HC translocation in corn (Lea mays L.). Plant Physiol. 52, 436-439 (J 973)

BREWIJAKER, .I. L. and K WACK, B. H.: The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. Amer. J. Bot. 50, 859-865 (1963)

BREWER, R. F.: Lcad, p. 213-217. In H. D.Chapman: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences (1966)

BREWER, R. F.: Fluorine p. 180-196. In H. D. Chapman. Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California. Div. of Agric. Sciences (1966)

BREWS1ER, J.L., BHAT, K.K.S. and NYE, P.H. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristics. V. Thc growth and phosphorus uptake of rape in soil at a range of phosphorus concentrations and a comparison of results with the prediction of a simulation model. Plant and Soil 44. 295-328 (1976)

BREWSTER, J.L. and TINKER, P.B.: Nutrient flow rates into roots. Soils and Fertilizers 35. 355-359 (1972)

BROCKMAN, J.S. Quality and timing of fertiliser N for grass and grass/clover swards. PnK. Fert. Soc. 142, 5-13 (1974)

BRONNER, H.: (G) Relation between the easily soluble nitrogen in soils and the developmcnt of beets. Landw. Forsch. 30/II. Sonderh. 39-44 (1974)

BROUWER, R., KLEINENDORST, A. and LOCHER, J. TH.: Growth responses of maize plants to temperature. Proc. Uppsala Symp. 1970. Plant response to climatic factors, Unesco 1973, p.169-174

BROWMAN, M.G., CHESTERS, G. and PIONKE, H.B.: Evaluation of tests for predicting thc availability of soil manganese to plants. J. agric. Sci. 72, 335-340 (1969)

BROWN, J.e.: Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstock. Soil Sci. 96, 387-394 (1963)

BROWN, J.e.: Mechanism of iron uptake by plants. Plant, Cell and Environment I, 249-257 (1978)

BROWN, J.e.: Effects of boron stress on copper enzyme activity in tomato. J. of Plant Nut rition I, 39-53 (1979)

BROWN, J. C., AMBLER, J.E., CHANEY, R. L. and FaY, C. D.: Differential responses of plant genotypes to micronutrients, p. 389-418. In: Micronutrients in Agriculture. Ed. Soil. Soc. Amer. 1972

BROWN, J.C., CLARK, R.J. and JONES, W.E.: Efficient and inefficient use of phosphorus sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 41, 747-750 (1977)

BROWN, J. C., TIFfIN, O. L. and HOLMES, R. S.: Carbohydrate and organic acid metabolism with C-14 distribution affected by copper in Thatcher wheat. Plant Physiol. 33, 38-42 (1958)

BROWN, R.H.: A difference in nitrogen use efficiency in C3 and C. plants and its implications in adapt ion and evolution. Crop Sci. 18, 93-98 (1978)

BROWNELL, P.F. and CROSSLAND, E. J.: The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C4 dicarboxylic photosynthetic

pathway. Plant Physiol. 49, 794-.797 (1972)

BROYER, T.e., CARLTON, A.B., JOHNSON, e.M. and STOUT, P.R.: Chlorine: A micronutricnt element for higher plants. Plant Physiol. 29, 526-532 (1954)

BROYER, T. C. and STOUT, P. R.: The macronutrient elements. Ann. Rev. Plant Physiol. III, 277-300 (1959)

BRUCKNER, U., HaFNER, W. and ORLOVIUS, K.: (G) Influence of growth regulators on assimilation and yield of spring wheat. Landw. Forsch. Sonderh. 35,291-299 (1978)

BRUIN, P. and GROOTENHUIS, J. A.: Interrelation of nitrogen, organic matter, soil structurc and yield. Stikstof, Dutch Nitrogenous Fertilizer Review 12,157-163 (1968)

BR UINSMA, J.: Root hormones and overground development. In: Plant Regulation and World Agriculture (K. SCOTT, ed.) p. 35-47. Plenum Publ. Corp. 1979

BRUN, W. A. and COOPER, R. L.: Effects of light intensity and carbon dioxide concentration Oil photosynthetic rate of soybean. Crop Sci. 7, 451-454 (1967)

BRUNE, H., THIER, E. and BORCHERT, E.: (G) Variability of biological protein quality or different cereals (variations in fertilizer application and sites). 3rd Comm.: Expcrimcntal results of investigations into the metabolism of pigs and rats with regard to amino acid indices. Z. Tierphysiol., Tiererniihr. u. Futtermittelkd. 24, 89-107 (1968)

BRYCE-SMITH, D.: Heavy metals as contaminants of the human environmcnt. The Educationl I Techniques Subject Group. Chemistry Cassette. The Chem. Soc. London 1975

BRYCE-SMITH, D. and WALDRON, H. A.: Lead, behaviour and criminality. The Ecologist 4, 367-377 (1974)

BUCHNER, A. and STURM, H.: (G) Fertilizer application in intensive agriculture, p. 156. 3rd ed. DLG-Verlag Frankfurt/Main 1971

BUCKMAN, H. O. and BRADY, N. e.: The Nature and Properties of Soils, 7th Ed. The Macmillan Co.; Collier-Macmillan Ltd. London 1969

BUDlG, M.: (G) Fertilizer placement to overcome potassium deficiency of grapes on loess soils. Diss. d. Landw. Fakultiit d. Justus-Liebig-Universitiit, Giessen 1970

BUNEMANN, G. and LUDDERS, P.: (G) Effect of seasonal nitrogen supply on the growth of apple trees. II. Bitter pit in 'Cox' related to N-timing and Ca-supply. Die .Gartenbauwiss. 34, (16), 287-302 (1969)

BUNESCU, S., TOMOROGA, P. and IANCU, e.: (Ru) The influence of some phytotechnical factors on the phytosanitary state of wheat under irrigation conditions. Probleme Agricole No.5, p. 45-52 (1972)

BURKART, N. : (G) Potassium dynamics and yield formation on potassium fixing soils in Southern Bavaria. Ph. D. Thesis, Fac. of Agriculture and Horticulture Technical University, Munich 1975

BURKE, e. and LONG, S. P.: Release of carboxylating enzymes from maize and sugar cane leaf tissue during progressive grinding. Planta 99, 199-210 (1971)

BURR, G.O., HARTT, e.E., TANIMOTO, T., TAKAHASHI, D. and BRODIE, H. W.: The circulatory system of the sugarcane plant. Radioisotop. in scientific Res. 4, 351-368 (1958)

BURsmoM, H. G.: Calcium and plant growth. BioI. Rev. 43, 287-316 (1968)

BURT, R. L.: Carbohydrate utilization as a factor in plant growth. Aust. J. Bio. Sci. 17, 867-877 (1964)

BUSH, L. P.: Influence of certain cations on activity of succinyl CoA synthetase from tobacco. Plant Physiol. 44, 347-350 (1969)

BUSSLER, W.: (G) Manganese deficiency symptoms in higher plants. Z.

Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 81 (126), 225-241 (1958)
BUSSLER, W.: (G) Manganese toxicity in higher plants. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 81, 256-265 (1958)
BUSSLER, W.: (G) The development of calcium deficiency symptoms. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 100, 53-58 (1963)
BUSSLER, W.: (G) Relationship between root formation and boron in sunflowers. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 92, 1-14 (1960)
BUSSLER, W.: (G) Boron deficiency symptoms and their development. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 105, 113-135 (1964)
BUSSLER, W.: Comparative Examinations of Plants Suffering from Potash Deficiency. Verlag Chemie, Weinheim 1964
BUSSLER, W.: (G) Development of molybdenum deficiency symptoms in cauliflower. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 125, 36-50 (1970)
BUTLER, G. W. and PETERSON, P. J.: Uptake and metabolism of inorganic forms of selenium-75 by Spirodela obligorrhiza, Austr. J. Bio!' Sci. 20, 77-86 (1967)
CALDWELL, T.H.: Copper deficiency in crops I. Review of Part work in Trace Elements in Soils and Crops' Tech. Bulletin, Min, of Agric., Fisheries and Food, U. K. 21, 62-72 (1971)
CALVIN, M.: (G) The photosynthetic cycle. Angew. Chemie 68, 253-264 (1956)
CANDELA, M.J., FISHER, E.G. and HEWITT, E.J.: Molybdenum as a plant nutrient. X. Some factors affecting the activity of nitrate reductase in cauliflower plants growth with different nitrogen sources and molybdenum levels in sand culture. Plant Physiol. 32, 280-288 (1957)
CANTLIffE, D,J.: Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition and light intensity. Agron. J. 65, 563-565 (1973)

CARLES, .I., CALMES, .I " M AGNY, J. and PULOU, R.: (F) The distribution of zinc and its toxicity in nlanls. C.R, Acad. Sci. (Paris), Ser. D, 268, 516-519 (1969)

CARROLL, M. D. and LONERAGAN, J. F.: Response of plant species to concentration of zinc in solution. II. Rate of zinc absorption and their relation to growth. Austr. J. Agric. Res., 457-463 (1969)

CARTER, M.R.: Association of cation and organic anion accumulation with iron chlorosis oj Scots pine on prairie soils. Plant and Soil 56, 293-300 (1980)

CARTWRIGHT, B. and HALLSWORTlI, E. G.: Effects of copper deficiency on root nodules of subterranean elover. Plant and Soil 33, 685-698 (1970)

CASPER, H.: (G) Nitrate availability as a function of soil water content. Modell experimcnts with young maize plants. Diss. Fachbereich 19 Ernahrungswissenschaften, Justus-Licbig Universitat Giessen 1975

CASSAGNES, P., MAGNY, J., AZALBERT, P. and CARLES, J.: (F) Contribution to investigation, into the accumulation of minerals during the growth of apple fruit (Reine des Reincttc C.R. Acad. Sci. (Paris) Ser. D, 269, 708-71 I (1969)

CATALDO, D.A., GARLAND, T.R., WILDUNG, R.E. and DRUCKER, H.: Nickel in plants II Distribution and chemical form in soybean plants Plant. Physiol. 62, 566-570 (1978)

CHAMPION, R.A. and BARLEY, K.P.: Penetration of clay by root hairs. Soil Sci. 108,402-407 (1969)

CHANDLER, R. F.: Overcoming physiological barriers to higher yields through plant brcedill p.421-434. In: Role of Fertilization in the Intensification of Agricultural Int. Potash nst., Bern 1970

CHANEY, R. L., BROWN, J. C. and TIFFIN, L. 0.: Obligatory reduction of

ferric chelates in iroll uptake by soybeans. Plant Physiol. 50. 208-2 13 (1972)

CHANEY, R.L. and HORNICK, S.B. Accumulation and effects of cadmium on crops In: "roc 1st Int. Cadmium ConL p. 136-150 Bulletin London 1978

CHANG-CHI CHU: Carbon dioxide in the open atmosphere and in a field of sugarl'anc al Tainan Taiwan. Taiwan Sugar Experiment Station, Tainan, Research Report No. I, 118 (1968)

CHAPMAN, D. L.: (G) Quoted from G. Kortiim: Textbook of Electrochemistry, VerI. Chemie, Weinheim 1957

CHAPMAN, H. D.: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California. Div. or Agric. Sciences, 1966

CHAPMAN, M. A. and KEAY, J.: The effect of age on the response of wheat to nutricnt Aust. J. Exp. Agric. and Animal Husbandry 11, 223-228 (1971)

CHARLEY,J. L. and MCGARITY,J.L.: High soil nitrate-levels in pattcrned saltbush commuilil iu. Nature 20 I, 1351-1352 (1964)

CHATT, .I.: Nitrogen Fixation - Future Prospects. Proceedings No. 155, Fertilizer Soc. or London 1976

CHAUDHRY, F. M. and LONERAGAN, .I. F.: Effects of nitrogen, copper and zinc nutritioll "I' wheat plants. Aust. .I. Agric. Res. 21, 865-879 (1970)

CHAUDHRY, P.M. and LONERAGAN, .I. F.: Zinc absorption in wheat seedlings: Inhibition by macronutrjent ions in short term experiments and its relevance to long term zinc Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36, 323-327 (1972)

CHEESEMAN, .I.M. and HANSON, .I. B.: Energy-linked potassium influx as relatcd (G cell pot,'II' tial in corn roots. Plant Physiol. 64, 842.845 (1979)

CHEN, C.H. and LEWIN, J.: Silicon as a nutrient element for Eqllisefllli

arvellse. Can. 47, 125-131 (1969)

CHENERY, M.: A preliminary study of aluminium and the tea bush. Plant and Soil 6, 174 200 (1955)

CHENG, B. T.: Dynamics of soil manganese. Agrochimica 17, 84-95 (1973)

CHENG, B. T. and OULLETTE, G..I.: Molybdenum as a rlant nutrient. Soil and Fertilizer . 207-215 (1973)

CHENIAE, G. M.: Photosystem II and O2 evolution. Ann. Rev. Plant Physiol. 21,467-498 (1976)

CHENIAE, G. M. and MARTIN,.I. F.: Sites of function of manganese within photosystem II. Roles in O_2 evolution and system If. Biochim. Biophys. Acta 197, 219-239 (1970)

CHENIAE, G. M. and MARTIN, l. F.: Effect of hydroxylamine on photosystem 11. f. Factors affecting the decay of CO2 evolution. Plant Physiol. 47, 568-575 (1971)

CHEUNG, W. Y.: Calmodulin plays a pivotal role in cellular regulation, Science 207, 19-27 (1980)

CHEVALIER, S. and HUGUET, c.: (F) Magnesium deficiency effects on apple trees. Ultrastructural evolution in deficient leaves of apple trees. Ann. agron. 26, 351-362 (1975)

CHIMIKLES, P.E. and KARLANDER, E.P.: Light and calcium interactions in Chlorela inhibited by sodium chloride. Plant Physiol. 51, 48-56 (1973)

CHIU, T. F. and BOULD, C.: Effect of shortage of calcium and other cations on Ca-45 mobility, growth and nutritional disorders of tomato plants (Lycopersicon esclllenfum) J. Sci. Pd. Agric. 27, 969-977 (1976)

CHO, D.Y. and PONNAMPERUMA, F.N.: Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. Soil Sci. 112, 184-194 (1971)

CHRISTENSON, D. R. and DOLL, E. c.: Release of magnesium from soil clay

and silt fractions during cropping. Soil Sci. 116, 59-63 (1973)

CLAASSEN, N. and BARBER, S.A.: Simulation model for nutrient uptake from soil by growing plant root system. Agron. .I. 68, 961 -964 (1976)

CLARKSON, D. T.: Calcium uptake by calciole and calcifuge species in the genus Agrosfis L. J. Ecol. (Oxford) 53, 427-435 (1965)

CLARKSON, D. T.: Ion Transport and Cell Structure in Plants. McGraw Hill 1974

CLARKSON, D.T.: Membrane structure and transport. In: The Molecular Biology of Plant Cells (H. SMITH, ed.) p. 24-63. Blackwell, Oxford 1977

CLARKSON, D.T. and HANSON, .I.B.: The mineral nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 239-298 (1980)

CLARKSON, D. T., ROBARDS, A. W. and SANDERSON, J.: The tertiary endoderm is in barley roots: fine structure in relation to radial transport of ions and water. Planta 96, 292-305 (1971)

CLARKSON, D.T., SANDERSON,.I. and RUSSELL, R.S.: Ion uptake and root age. Nature 220, 805-806 (1968)

CLARKSON, D.T. and SANDERSON, J.: The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the root apices of Allium Pepa. Tracer and autoradiographic Studies. Planta 89, 136-154 (1969)

CL.ARKSON, D.T. and SANDERSON, J.: Sites of absorption and translocation of iron in barley rools. Tracer and microautoradiographic studies. Plant Physiol. 61, 731-736 (1978)

CLARKSON. D.T. and WARNER, A.J.: Relationship between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by Italian and perennial ryegrass. Plant Physiol. 64, 557-561 (1979)

CLELAND, R. E.: A dual role of turgor pressure in auxin-induced cell elongation in. Planta 77,182-191 (1967)

CLEMENT. C. R. and HOPPER, M.J.: The supply of potassium to high yielding cut grass. N.A.A.S. Quarterly Review No. 79, Spring (1968)

CLEMENT, C.R. HOPPER, M.J. and .JONES, L.H.P.: The uptake of nitrate by Lolium perenne from Ilowing nutrient solution. J. Expt. Bot. 29, 453-464 (1978)

COCUCCI, M.C. and DALLA ROSA, S.: Effects of canavanine on IAA- and fusieoccin-stimulated cell enlargement, proton extrusion and potassium uptake in maize coleoptiles. Physiol. plant. 48. 239-242 (1980)

COIE, Y., PAUCONNEAU. C., PION, R.. BUSSON. F., LESAINT, C. and LAHONNE, F.: (F) Effect of the mineral nutrition on the composition of grain proteins in cereals (wheat and barley). Ann. Phvsiol. Veg. .5 (4) 281-797. (1963)

COIC, Y., LESAINT, C. and LE Roux, F.: (F) Effects of ammonium and nitrate nutrition and a change of ammonium and nitrate supply on the metabolism of anions and cations in tomatoes. Ann. Physiol. veg. 4, 117-125 (1962)

COLEMAN, R. G.: The effect of sulfur deficiency on the free amino acids of some plants. Aust. J. BioI. Sci.]0, 50-56 (1957)

COLLANDER, R.: Selective absorption of cations by higher plants. Plant Physiol. 16,691-720 (1941)

CONNELL, W.E. and PATRICK, W. H.: Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 33, 711-715 (1969)

COOKE, G. W.: Phosphorus and potassium fertilizers: their forms and their places in agriculture. The Fertilizer Soc. Proc. No. 92 (1966)

COOKE, G. W.: The Control of Soil Fertility. Crosby, Lockwood and Son Ltd., London (1967)

COOKE, G. W.: Fertilizing for Maximum Yield. Crosby Lockwood and Son Ltd. London 1972

COOKE, G. W.: Change in the amounts of fertilizers used and the fQlms in which they are produced, together with comments on current problems in valuing fertilizers and using them efficiently. Cento Seminar on Fertilizer Analytical Methods, Sampling and Quality Control, Pakistan 1974

COOKE, G .W.: The role of organic manures and organic matter in managing soils for higher crop yields - a review of the experimental evidence. Proc. Int. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, p. 53-64. Tokyo 1977

COOKE, G. W. and WILLIAMS, R.J. B.: Losses of I1Itrogen and phosphorus from agricultural land. Water Treatm. Exam. 19, 253-276 (1970)

COOMBS, J.: Enzymes of C+ metabolism In: Photosynthesis II, Encycl. Plant Physiol. NCII Series Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 251-262, Springer-Verlag Berlin, Heidclberg, New York 1979

COOPER K.M. and TINKER, P.B.: Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. IT Uptake and transfer of phosphorus, zinc and sulphur. New Phytol. 81,43-52,1978

COOPER, T.G., FILMER, D., WISHNICK, M. and LANE, M.D.: The active species of 'CO' utilized by ribulose diphosphate carboxylase. J. BioI. Chem. 244,1081-1083 (1969)

COPPENET, M.: (F) Results from observations of a twelve years lasting Iysimeter experiment ill Quimper (1954-1965). Ann. agron. 20,111-143 (1969)

COTTENIE, A. and KIEKENS, L.: Quantitative and qilalitative plant response to extrcn1t nutritional conditions. In: WEHRMANN, J.: Plant Analysis and Fertilizer Problc. p. 543-556, Vol. 2. German Soc. Plant Nutrition, Hannover 1974

COULSON, C. L., CHRISTY, A.L., CATALDO, D.A. and SWANSON, C.A.:

Carbohydrate location in sugar beet petioles in relation to petiolar respiration and adenosine 5 -t riphosphate. Plant Physiol. 49, 919-923 (1972)

COWLING, D. W. and LOCKYER, D. R.: Growth of perennial ryegrass Latium pereill exposed to a low concentration of sulphur dioxide. J. Exp. Bot. 27, 411- 417 (1976)

Cox, G., MORAN, K.J., SANDERS, F., NOCKOLDS, C. and TINKER, P.B.: Translocation an, transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. HI. Polyphosphate granules phosphorus translocation. New Phytol. 84, 649-659 (1980)

Cox, W.J. and REISENAUER, H.M.: Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogcn , nitrate, or ammonium, or both. Plant and Soil 38, 363-380 (1973)

CRAM, W. J.: Chloride fluxes in cells of the isolated root cortex of Zea mays. Aust. J. biois, J 26,757-779 (1973)

CRAMER, W.A.: Cytochromes. In: Photosynthesis I, Encycl. Plant Physiol. New Serics Vol (A. TREBST and M. ARNON, eds.) p. 227-237. Springer-Verlag Berlin, Heidelbcrg. New York 1977

CRAWFORD, R. M. M.: Alcohol dehydrogenase activity in relation to flooding tolcrance in roots. J. expo Bot. 18,458-464 (1967)

CRESS, W.A., THRONEBERRY, G.O. and LINDSEY, D.L.: Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. Plant Physiol. 64, 484 - 487, 1979

CRIPPS, E.G.: Boron nutrition of the hop. J. hort. Sci. 31, 25-34 (1956)

CRISP, P., COLLIER, G.F. and THOMAS, T.H.: The effect of boron on tipburn and auxin activity in lettuce. Sci. Hortic. 5, 215-226 (1976)

CROMPTON, E.: Some morphological features associated with poor soil drainage. J. of Soil Sci. 3,277-289 (1952)

CROMPTON, E.: Soil structure. N.A.A.S. Quarterly Review, No. 41,6-14 (1958)

CROOKE, W. M.: Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. Soil Sci. 81, 269-276 (1956)

CROOKE, W.M. and INKSON, R.H.E.: The relationship between nickel toxicity and major nutrient supply. Plant and Soil 6, 1-15 (1955)

CROY, L.L and HAGEMAN, R.H.: Relationship of nitrate reductase activity to grain protein production in wheat. Crop Sci. 10, 280-285 (1970)

CUNNINGHAM, R. K. and NIELSEN, K. F.: Evidence against relationships between root cation exchange capacity and cation uptake by plants. Nature 200, 1344-1345 (1963)

CUPINA, T. and SARIC, M.: Assimilation of carbon into some organic matters in young corn plants grown under various conditions of nutrition. J. Sci. Agric. Res. 20, 48-62 (1967)

CURRIER, W.W. and STROBEL, G.A.: Chemotaxis of Rhizobium spp. to plant root exudates. Plant Physiol. 57, 820-823 (1976)

DAINTY, J.: Ion transport and electrical potentials in plant cells. Ann. Rev. Plant Physiol. 13, 379-402 (1962)

DALAL, R.C.: Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29, 83-117 (1977)

DALLING, M. J., TOLBERT, N. E. and HAGEMAN, R. H.: Intracellular location of nitrate reductase and nitrite reductase. II. Wheat roots. Biochem. Biophys. Acta 283, 513-519 (1972)

DALY, G. T.: Nitrogen fixation by nodulated Alnus rugosa. Can. J. Bot. 44, 1607-1621 (1966)

DAM KOFOED, A.: Potassium and the environment, p. 331-350. In: Potassium Research and Agricultural Production. Int. Potash Inst., Bern 1974

DAM KOFOED, A.: Copper and its utilization in Danish agriculture. Fertilizer Research I, 63-71 (1980)

DAM KOFOED, A. and FOGH, H. T.: (D) The sulphur nutrition of plants. Tidsskrift for Planteavl 72, 503-512 (1968)

DAM KOFOED, A. and HOJMARK, J. V.: (D) Field experiments with magnesium fertilizers. Tidsskrift for Planteavl 75, 349-376 (1971)

DAM KOFOED, A. and KJELLERUP, V.: (D) Movements of fertilizer nitrogen in soil. Tidesskrift for Planteavl 73, 659-686 (1970)

DAM KOFOED, A. and LARSEN, K.E.: (D) Experiments with Peraform, a slowly acting nitrogenous fertilizer. Tidsskrift for Planteavl 73, 172-179 (1969)

DAM KOFOED, A. and LINDHARD, J.: (D) Removal of plant nutrients from grass-covered soils in Iysimeters. Tidsskrift for Planteavl 72, 417-437 (1968)

DAM KOFOED, A., LINDHARD, J. and SONDERGARD KLAUSEN, P.: (D) Experiments with anhydrous ammonia as a nitrogenous fertilizer. Tidsskrift for Planteavl 71, 145-225 (1967)

DAM KOFOED, A. and SONDERGAARD KLAUSEN, P.: (D) Field application of fertilizer nitrogen to grass and to clover-grass mixtures. Tidsskrift for Planteavl 73, 203-246 (1969)

DANIEL, C. and OCHS, R.: (F) Improvement of production of young oil palms in Peru by chloride fertilizer application. Oleagineux 30, 295-298 (1975)

DANIELL!, J. F. and DAVSON, H. A.: A contribution to the theory of the permeability of thin films. J. Cellular compo Physiol. 5, 495-508 (1935)

DANIEI.S, R. R., STUCKMEYER, B. E. and PETERSON, L. A.: Copper toxicity in Phaseolu. Vulgaris L. as influcnccd by iron nutrition. I. An anatomical study. Amcr. Soc. Hort. Sci. 9, 249-254 (1972)

DAVIES, D.B., HOOPER, L.J. and CHARLESWORTH, R.R. et al.: Copper deficiency in crops: ITI Copper disorders in cereals grown in chalk soils

in South Eastern and Central Southern England in 'Trace Elements in Soils and Crops', Tech. Bulletin, Min. of Agric., Fisheries and Food 21,88-118 (1971)

DAVIES, D.O.: Control of and by pH. Sym. Soc. Exp. BioI. 27, 513-529 (1973)

DAVIS, R. F. and HIGINBOTHAM: Electrochemical gradients and K^+ and CI- fluxes in excised corn roots. Plant Physiol. 57, 129-136 (1976)

DAVISON, A. and JEFFERIES, B.J.: Some experiments on the nutrition of plants growing on coal mine waste heaps. Nature 2/0,649-650 (1966)

DAY, A.D. and TNTALAP, S.: Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat (Triticuill aestivulll L. em Theil). Agron. J. 62, 27-29 (1970)

DAY, J.P., HART, H. and ROBINSON, M.S.: Lead in urban street dust. Nature 253,343-345 (1975)

DE, R.: Cultural practices for maize, sorghum and millets. I. FAO/SIDA Seminar for plant scientists from Africa and Near East, FAO Rome 1974, p. 440-451

DEAR, J. M. and ARNOFP, S.: The nonessentiality of boron for Scenedesillus. Plant Physiol. 43, 997-998 (1968)

DE BOODT, M. and DE LEENHEER, L.: (N) Investigations into pore distribution in soils. Medelingen Landbouwhogeschool, Gent 98-130 (1955)

DECAU, J. and POLLACSEK, M,: Improving plant protein by nuclear techniques, Tntern. Atomil' Energy Agency, 132/17, 357-366 (1970)

DECAU, J. and PUJOL, B.: (F) Comparative effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the qualitative and quantitative production of different maize cultivars. Ann. agron. 24. 359-373 (1973)

DE CORMIS, L.: (F) Contribution to the study of sulphur absorption by plants

exposed to an atmosphere of sulphur dioxide. Ann. Physiol. Veg. (2), 99-112 (1968)

DEJAEGERE, R. and NEIRINCKX, L.: Proton extrusion and ion uptake: Some characteristic's of the phenomenon in barley seedlings. Z. Pflanzenphysiol. 89, 129-140 (1978)

DEKOCK, P.C.: Heavy metal toxicity and iron chlorosis. Ann. Bot. NS 20,133-141 (1956) DEKOCK, P. c.: Nutrient balance in plant leaves. Agric. Progress 33, 88-95 (1958)

DEKOCK, P.c., CHESHIRE, M. V. and HALL, A.: Comparison of the effect of phosphorus and nitrogen on Cu deficient and suffering oats. J. Sci. Food Agric. 22, 431-440 (1971)

DEKOCK, P.c., COMMISIONG, K., FARMER, V.c. and TNKsoN, R.H.E.: Interrelationships 01 catalase, peroxidase, hematin and chlorophyll. Plant Physiol. 35, 599-604 (1960)

DEKOCK, P.c., DYSON, P. W., HALL, A. and GRABOWSKA, F.: Metabolic changes assoeiall'd with calcium deficiency in potato sprouts. Potato Res. 18,573-581 (1975)

DEKOCK, P.c., HALL, A., INKSON, R.H.E. and ROBERTSON, R.A.: Blossom end rot in tomatoes J. Sci. Food Agric. 30, 508-514 (1979)

DELA GUARDIA, M.D. and BENLLOCH, M.: Effects of potassium and gibberellic acid on Skill growth of whole sunflower plants. Physiol. Plant. 49, 443-448 (1980)

DELAS, J.: (F) The toxicity of copper accumulated in soils. Agrochimica 7, 258-288 (1963)

DELOCH, H. W.: (G) Analytical determination of sulphur in biochemical materials and II uptake of sulphur by crops in relation to fertilizer application. Diss. Landw. Fakultat Giessen 1960

DELWICHE, C.C.: The Biosphere. Scientific Amer., p. 71-80, Inc. W.H.

Freeman, San 1:,:ln cisco 1970
DENAEYER-DE SMET, S.: (F) Aspects about the accumulation of zinc in plants growing I III calamine soils. Bull. lnst. r. Sci. nat. Belg. 46, 1-13 (1970)
DE WIT, c.T., DUKSHOORN, W. and NOGGLE, J.C.: Ionic balancc and growth or pili III, Verslagen vanlandbouwkundige onderzoekingen, Wageningen, 68 pages, 1963
DHINDSA, R.S. and CLELAND, R.E.: Water stress and protein synthesis. Plant Physinl., 778-781 (1975)
DICKINSON, D. B.: Permeability and respiratory properties of germinating pollen. Physiol. Plant. 20, 118-127 (1967)
DIEST, A. VAN: Soil-structural problems associated with intensive farming in the Netherlands. In: Proc. of the Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. p. 145-153, Tokyo 1977
DUK, H. VAN: (G) The C/N ratio in the A,(p) horizon of cultivated sandy soils in relation to the mineralization of carbon and nitrogen. Stikstof, Dutch nitrogenous fertilizer review 12, 89-96 (1968)
DIJKSHOORN, W. and ISMUNADJI, M.: Nitrogen nutrition of rice plants measured by growth and nutrient content in pot experiments. 2. Uptake of ammonium and nitrate from a waterlogged soil. Neth. J. agric. Sci. 20, 44-57 (1972)
DJJKSHOORN, W. and LAMPE, J.E.M.: Availability for ryegrass of cadmium and zinc from dressings of sewage sludge. Neth. J. Agric. Sci. 23, 338-344 (1975)
DUKSHOORN, W. and VAN WJJK, A. L.: The sulphur requirements of plants as evidenced by the . sulphur-nitrogen ratio in the organic matter, a review of published data. Plant and Soil 26, 129-157 (1967)

DILZ, K. and WOLDENDORP, J. W.: Dist,ibution and nitrogen balance of 15N labelled nitrate applied on grass sods. Proc. Intern. Grassl. Congr. 8th, p. 150-152, Reading 1960

OWN, H. G. and MANN, P. J. G.: Trivalent nanganese in soils. J. Agric. Sci. 36, 239-245 (1946)

DITTMER, H. J.: A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (Secale cereale). Am. J. Bot. 24, 417-420 (1937)

DIXON, N. E., GAZZOLA, c., BLAKELEY, R. L. and ZERNER, B.: Jack bean urease (EC 3.5.1.5.) a metalloenzyme. A simple biological role for nickel J. Am. Chem. Soc. 97, 4131-4132 (1975)

DOBEREINER, J., DAY, J.M. and DART, P.J.: Nitrogeneous activity and oxygen sensitivity or the Paspalum notatuill Azotobacter paspali association. J. Gen. Microbiol. 71, 103-116 (1972)

DOBLER, M., DUNITz, J.D. and KRAJEWSKI, J.: Structure of the K^+ complex with Enniatin B, a macro cyclic antibiotic with K^+ transport properties. J. Mol. BioI. 42, 603-606 (1969)

DOLL, E. c.: Nitrogen fertilization of alfalfa and alfalfa-orchardgrass hay. Agron. J. 54, 469-471 (1962)

DOLL, E. C. and LUCAS, R. E.: Testing soils for potassium, calcium, and magnesium, p. 133-151. In L.M.Walsh and J.D.Beaton: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Soc. Of America, Madison USA 1973

DOMI'ERT, W. and BERINGER, H.: (G) Oil synthesis in sunflower seeds exposed to different oxygen concentrations. Die Naturwiss. 57, 40 (1970)

DRAKE, M. and WHITE, J. M.: Influence of nitrogen on the uptake of calcium. Soil Sci. 91, 66-69 (1961)

DRAYCOTT, A. P. and DURRANT, M.J.: Plant and soil magnesium in relation to response of sugar beet to magnesium applications. J. of the

Tnt. Inst. for Sugar Beet Research 5, 129-135 (1971)

DRA YCOTT, A. P. and FARLEY, R. F.: Response by sugar beet to soil dressings and foliar sprays or manganese. J. Sci. Fd Agric. 24, 675-683 (1973)

DRAYCOTT, A. P., MARSH, J.A. P. and TiNKER, P.B.H.: Sodium and potassium relationships in sugar beet. J. agric. Sci. 74,567-573 (1970)

DREW, M.C. and BIDDULPH, O.: Effect of metabolic inhibitors and temperature on uptake IInd translocation or Ca and 'I5K by intact bean plants Plant Physiol 48, 426-432 (1971)

DREW, M .C. and Gm,s, M.J.: Elfect of soil physical ractors on root growth. Chem and Ind. No. 14, 679-684 (1973)

DREW, M. C. and NYE, H. P.: 'fhe supp1y oC nutrient ions by diffusion to p1ant roots in soil. II. The effect of root hairs on the uptake of potassium by roots of rye grass. Plant and Soil 31, 407-424 (1969).

DREW, M. C., NYE, P. H. and V AIDYANATHAN, L. Y.: The supply of nutrient ions by diffusion to plant roots in soil. I. Absorption of potassium by cylindrical roots of onion and leek. Plant and Soil 30, 252-270 (1969)

DROUINEAU, G. and BLANC, D.: (F) Influence of the nitrogen nutrition on the development and on the metabolism of plants. Agrochimica 5, 49-58 (1961)

DROUINEAU, G. and MAZOYER, R.: (F) Contribution to the study of copper toxicity in soils. Ann. agronom. 13, 31-53 (1962)

DUISBERG, P. C. and BUEHRER, T. F.: Effect of ammonia and its oxidation products on rate of nitrification and plant growth. Soil Sci. 78,37-49 (1954)

DUNCAN, W.G.: Maize. In: Crop Physiology (L.T. EVANS ed.) p.23-50. Cambridge Universi ty Press 1975

DUNLAP, D.B. and THOMPSON, A. H.: Effect of boron sprays on the development of bitter-pit in the York Imperial apple. Maryland Agr. Exp. Sta Bull. A 102 (1959)

DUNLOP, J. and BOWLING, D.J. F.: The movement of ions to the xylem exudate of maize roots. IT. A comparison of the electrical potential and electrochemical potentials of ions in the exudate and in the root cells. J. Exp. Bot. 22, 445-452 (1971).

DURING, C. and DUGANZICH, D.M.: Simple empirical intensity and buffering capacity measurements to predict potassium uptake by white clover. Plant and Soil 51, 167-176 (1979)

DURRANT, M.J. and DRAYCOTT, A. P.: Uptake of magnesium and other fertilizer elements by sugar beet grown on sandy soils. J. agric. Sci. 77,61-68 (1971)

DUTHION, M.: (F) Potassium in soils. Revue Agricol. France - Fertilisation No.2 (1966)

DUVIGNEAUD, P. and DENAEYER-DE SMET, S.: (F) Effect of some heavy metals in the soi I (copper, cobalt, manganese, uranium) on the vegetation in Upper Katanga. ler Colloq. Soc. Bot. France 121 (1959)

DYBING, C. D. and ZIMMERMANN, D. c.: Fatty acid accumulation in maturing flaxseeds as influenced by environment. Plant Physiol. 41, 1465-1470 (1966)

DYER, B.: On the analytical determination of probably available mineral plant food in soils. J. Chern. Soc. 23, 799-810 (1894)

EAGLES, C. F.: Apparent photosynthesis and respiration in populations of Lolium perenne from contrasting climatic regions. Nature 215, 100-101 (1967)

EAKIN, J.H.: Food and fertilizers, p. 1-21. In: The Fertilizer Handbook, The Fertilizer Ins!., Washington 1972

EATON, F. M.: Chlorine, p. 98-135. In: H. D.Chapman: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences 1966

EDELBAUER, A.: (G) Investigations on the effect of various KC1/K2S04 ratios on grape yicld. juice quality and amino acid pattern in the juice of Vitis villilera grown in solution cullllc. In: 4th Int. Coil. on the Control of Plant Nutrition, Vol. I (A. COTTENIE, ed.) p. 293.30.1. Gent 1976

EDELBAUER, A.: (G) Composition of juice of Vitis vinifera at diflerent chloride sulphate in the nutrient solution. Mitt. Klosterneuburg, Rebe u. Wein, Obstbau u. Frtkhte, Jahrg. 27, 217-222 (1977)

EDWARDS, G.E. and HUBER, S.c.: C4 metabolism in isolated cells and protoplasts. In: synthesis n, New Series, Vol. 8 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 102-112. Springer Berlin, Heidelberg, New York 1979

EFFMERT, E.: (G) The effect of fertilizer application on the phosphate content of potato stllrch (I). Effect of fertilizer application on the ratio of amylose/amylopectin in polato stllidi. Thaer-Archiv II, 745-753 u, 755-759 (1967)

EGMOND, F. VAN, and BRETELER, H.: Nitrate reductase activity and oxalate content of sugal beet leaves. Neth. J. agric. Sci. 20, 193-198 (1972)

EGNER, H.: (G) Recent contributions to chemical soil tests with particular regard to the lactate method. Landw. Forsch., 6. Sonderh., 28-32 (1955)

EHLERS, W., GEBHARDT, H. and MEYER, B.: (G) Investigations into the position specific bonds of potassium to illite, kaolinite, montmorillonite, and humus. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 119, 173-186 (1968)

EHLERS, W., MEYER, B. and SCHEFFER, F.: (G) K selectivity and fractionation of the exchangeable potassium. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 117- 129 (1967)

EHRLER, W. L.: Transpiration of alfalfa as aflected by low root temperature and other factors of a controlled environment. Plant Physiol. 37, Supplm. 843 (1962)

EILRICH, G. L. and HAGEMAN, R. H.: Nitrate reductase activity and its relationship to accumulation of vegetative and grain nitrogen in wheat Crop Sci. 13, 59-66 (1973)

ELGAWHARY, S. M., LINDSAY, W.L. and KEMPER, W. D.: Effect of complexing agent and acids on the diffusion of zinc to a simulated root. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 211-214 (1970)

EL-SHEIKH, A. M. and ULRICH, A.: Interactions of rubidium, sodium and potassium on the nutrition of sugar beet plants. Plant Physiol. 46, 645-649 (1970)

ELZAM, O.E. and EpSTEIN, E.: Absorption of chloride by barley roots: kinetics and selectivity. Plant Physiol. 40, 620-624 (I 965).

ELZAM, O.E. and HODGES, T. K.: Calcium inhibition of potassium absorption in corn roots. Plant Physiol. 42, 1483-1488 (1967)

EMBLETON, T. W.: Magnesium. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Ed. H. D. Chapman, Univ. of California, Div. of Agric. Sci., p. 225-263 (1966)

ENGEL, W.: (G) Investigations intotheSicompounds in theculmofrye. Planta41, 358-390(1953)

EPPENDORFER, W.: The effect of nitrogen and sulphur on changes in nitrogen fractions of barley plants at various early stages of growth and on yield and amino acid composition or grain. Plant and Soil 29, 424-438 (1968)

EPSTEIN, E.: Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. Nature 212, 1324-1327 (1966)

EPSTEIN, E.: Mineral Nutrition of Plant: Principles and Perspectives. John

Wiley and Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto 1972

EPSTEIN, E.: Ion absorption by roots: The role of micro-organisms. New PhytoL 71, 873-874 (1972)

EPSTEIN, E.: Flow in the phloem and the immobility of calcium and boron: A new hypothesis in support of an old one. Experimentia 29, 133 (1973)

EPSTEIN, E. and HAGEN, C. E.: A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. Plant Physiol. 27, 457-474 (1952)

EPSTEIN, E. and LEGGETT, J.E.: The absorption of alkaline earth cations by barley roots: kinetics and mechanism. Am. J. Hot. 41, 785-791 (1954)

ERDEI, L., TOTH, I., and ZSOLDOS, F.: Hormonal regulation of $Ca2^{+}$ stimulated K^{+} influx and $Ca2^{+}$, K^{+}.ATPase in rice roots: in vivo and in vitro effects of auxins and reconstitution or the ATPase. Physiol. Plant. 45, 448-452 (1979)

ERGLE, D. R. and EATON, F. M.: Sulfur nutrition of cotton. Plant Physiol. 26, 639-654 (1951)

ERGLE, D. R. and GUINN, G.: Phosphorus compounds of cotton embryos and their changes during germination. Plant Physiol. 34, 476-482 (I 959)

EIUCKSON, A. E. and VAN DOREN, D. M.: The Relation of Plant Growth and Yield to Soil Oxygen Availability, p. 428-434. Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci., Madison, Wisc., USA,Vol. III, 1960

ETHERTON, B.: Rclationship of cell transmcmbrane clectropotential to potassium and sodium acculmulation ratios in oat and pea secdlings. plant physiol. 38, 581-585 (1963)

ETHERTON, B. and HIGINBOTHAM, N.: Transmembrane potential measurements of cells of higher plants as related to salt uptake. Science 131,409-410 (1961)

EVANS, C.E. and KAMPRATH, E.J.: Lime response as related to percent aluminium saturation, solution aluminium and organic matter content.

Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 893-896 (1970)

EVANS, H. and NASON, A.: Pyridine nucleotide-nitrate reductase from extracts of higher plants. Plant Physiol. 28, 233-254 (1953)

EVANS, H. J. and RUSSELL, S. A.: Physiological Chemistry of Symbiotic Nitrogen Fixation by Legumes, p. 191-244. In J. R. Postgate: The Chemistry and Biochemistry of Nitrogen Fixation, Plenum Publishing Co. 1971

EVANS, H. J. and SORGER, G. J.: Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 47-77 (1966)

EVANS, L. T. and RAWSON, H. M.: Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of the ear during grain development in wheat. Aust. J. Biol. Sci. 23, 245-254 (1970)

EVANS, L. T., WARDLAW, I. F. and FISCHER, R.A.: Wheat. In: L. T.EVANS: Crop Physiology, p. 101-149. Cambridge University Press, Cambridge 1975

EVERS, F.H.: (G) Effect of ammonium and nitrate nitrogen on growth and mineral content of Picea and Populus. 1. Growth at different acidity levels and Ca concentration in the nutrient medium. Z. f. Bot. 51, 61-79 (1963)

EVERT, R.F.: Vascular anatomy of angiospermous leaves, with special consideration of the maize leaf. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 93,43-55 (1980)

EWART, J.A.D.: Glutenin and dough tenacity. J. Sci. Fd Agric. 29, 551-556 (1978)

FALLER, N. N.: (G) The sulphur dioxide content of the air as a factor of the sulphur supply or plants. Diss. Landw. Fakultat d. Justus-Liebig-Universitat, Giessen 1968

FALLER, N., HERWIG, K. and KUHN, H.: (G) The uptake of sulphur dioxide (35S0Z) from the air. 1. Effect on crop yield. Plant and Soil 33, 177-191

(1970)

FARLEY, R. F. and ORA YCOTT, A. P.: Manganese deficiency of sugar beet in organic soil. Plan I and Soil 38, 235-244 (1973)

FARLEY, R. F. and ORA YCOTT, A. P.: Diagnosis of manganese deficiency in sugar beet and response to manganese applications. J. Sci. Fd. Agric. 27, 991-998 (1976)

FARMER, V. C. and WILSON, M. J.: Experimental conversion of biotite to hydro biotite. Natur,' 226, 841-842 (1970)

FARQUHAR, G.D., FIRTH, P.M., WETSELAR, R. and WEIR, B.: On the gSlseous exchange or ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. Plant Physiol. 66, 710-714 (1980)

FARRAR, K.: A review of extraction techniques used to determine available boron in soil, ADAS Q Rev. 19,93-100 (1975)

FAUST, M. and SHEAR, C.B.: Biochemical changes during the development of cork spot of apples. Qual. Plant Mater. Veg. 19, 255-265 (1969)

FEIGENBAUM, S. and MENGEL, K.: The effect of reduced light intensity and sub-optimal potassium supply on Nz fixation and N turnover in Rhizobium infected lucerne. Physio1., Plant. 45, 245-249 (1979)

FINCK, A.: (G) Manganese requirement of oats at various growth stages. Plant and Soil 7, 389-396 (1956)

FINCK, A.: (G) Critical nutrient contents in plants and their evaluation with regard to fertilizer requirement. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 119, 197-208 (1968)

FINGER, H. and WERK, O.: (G) Increase of the sodium and magnesium contcnt in pasture herbage and the influence of Magnesia-Kainite application on the rorage uptake by cows, Landw. Forsch. 28/II. Sonderh., 190-196 (1973)

FISCHER, R.A.: Stomatal opening: role of potassium uptake by guard cells. Science 160, 784-785 (1968)

FISCHER, R. A. and HSIAO, T. c.: Stomatal opening in isolated epidermal strips of Vida faba. II. Responses to KCI concentration and the role of potassium absorption. Plant Physiol. 43, 1953-1958 (1968)

FISHER, D. B.: Structure of functional soybean sieve elements. Plant Physiol. 56, 555-569 (1975)

FISHER, J. D., HANSEN, D. and HODGES, T. K.: Correlation between ion fluxes and ion-stimulated adenosine triphosphatase activity of plant roots. Plant Physiol. 46, 812-814 (1970)

FISHER, R. A.: A preliminary note on the effect of sodium silicate in increasing the yield of barley. J. Agric. Sci. 19,132-139 (1929)

FLEMING, G.: Mineral disorders associated with grassland farming, In Proc. Intern. Meeting on Animal Production from Temperate Grassland, p. 88-95 An Foras Taluntais, Dublin 1977 .

FLOWERS, TJ., TROKE, P.F. and YEO, A.R.: The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 28, 89-121 (1977)

FOCHT, D.O.: Methods for analysis of denitrification in soil. In: Nitrogen in the Environment. Soil-Plant-Nitrogen Relationships, Vol. I (D.R. NIELSEN and J.G. MACDoNALD, eds.) p. 433-490. Academic Press 1978

FOLLETT, R.H. and LINDSAY, W. L.: Profile distribution of zinc, iron, manganese and copper in Colorado soils. Colorado Exp. Station Techn. Bull. 1 10 (1970)

FOROUGHI, M., MARSCHNER, H. and DORING, H.W.: (G) Occurence of boron deficiency in Citrus aurantiuln L. (Bitter orange) at the Caspian Sea (Iran). Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 136, 220-228 (1973)

FORSTER, H.: (G) Effect of some interruptions in the nutrient supply on the

development of yield and quality characteristics in sugar beets. Landw. Forsch. 25/II. Sonderh., 99-105 (I 970)

FORSTER, H.: Relationship between the nutrition and the appearance of 'greenback' and 'blossom-end rot' in tomato fruits. Acta Hort. 29, 319-326 (1973)

FORSTER, H.: (G) Effect of the potassium and nitrogen supply to plants on yield components and yield formation of cereals. Landw. Forsch. 26, 221-227 (1973)

FORSTER, H. and MENGEL, K.: (G) The effect of a short term interruption in the K supply during the early stage on yield formation, mineral content and soluble amino acid content. Z. Acker- u. Pftanzenbau 130, 203-213 (1969)

FORSTER, H. and VENTER, F.: (G) The effect of the K nutrition on 'green back' in tomato fruits. Gartenbauwiss. 40, 75-78 (1975)

FOWDEN, L.: Aspects of amino acid metabolism in plants. Ann. Rev. Plant Physio!. 18, 85-106 (1967)

Foy, C. D.: Effect of aluminium on plant growth. In: E. W. CARSON: The Plant Root and its Environment, p. 601-642. Univ. Press of Virginia, Charlottesville 1974

Foy, C. D.: Effects of soil calcium availability on plant growth. In: E. W. CARSON: The Plant Root and its Environment, p.565-600. Univ. Press of Virginia, Charlottesville 1974

Foy, CD.: General principles involved in screening plants for aluminium and manganese tolerance. In: M.J. WRIGHT, ed., Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils, p. 255-267, Cornell University 1976

Foy, C. D., ARMINGER, W. H.,BRIGGlE, L. W. and REID, D. A.: Differential aluminium tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. Agron. J. 57, 413-417 (1965)

Foy, C.D., CHANEY, R.L. and WHITE, M.C.: The physiology of m~tal toxicity in plants. Ann. Rev. Planl Physio!. 29, 511-566 (1978)

Foy, C. D., FLEMING, A. L., BURNS, G. R. and ARMINGER, W, H.: Characterization of differential aluminiumlolerance among varieties of wheat and barley. Agron. J. 31, 513-521 (1967)

FRANKE, W.: Mechanisms of foliar penetration of solutions. Ann. Rev. Plant Physiol. 18, 281-300 (1967)

FREMOND, Y. and OUVIWR, M.: (F) Importance of an adequate mineral nutrition for the establishmcnt of a coco plantation on sandy soils. Oleagnicllx, 26" annee, No. 10, 609 - 616 (1971)

FRENEY, J.R. and STEVENSON, F.J.: Organic sulphur transformations in soils. Soil Sci. 101, 307-316 (1966)

FRIDOVICH, 1.: Superoxide dismutases. Ann. Rev. Biochem. 44,147-159 (1975)

FRIED, M.: 'E', 'L', and 'A' values. 8th Intern. Congress of Soil Science, Bucharest, Romania IV, 29-39 (1964)

FRIED, M. and BROESHART, H.: The Soil-Plant System, p. 183-206. Academic Press, New York, London 1969

FRIED, M. and DEAN, L.A.: A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci. 73, 263-271 (1952)

FRIED, M. and SHAPIRO, R. E.: Soil-plant relationships in ion uptake. Ann. Rev. Plant Physiol. 12,91-112 (1961)

FRIEDRICH, J .W. and SCHRADER, L.E.: Sulphur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. Plant Physiol. 61, 900-903 (1978)

FRIES, L.: Vitamin B12 in Pisum sativum L. Physiol. Plant. 15, 566-571. (1962)

FRIIS-NIELSEN, B.: An approach towards interpreting and controlling the nutrient status of growing plants by means of chemical plant analyses.

Plant and Soil 24, 63-80 (1966)

FRITZ, D.: (G) Effect of technical measurements on the quality of some vegetable crops. Bayr. Jahrb. 54, 78-87 (1977)

FURCHTENICHT, K., HOFFMANN, G. and VETTER, H.: (G) Is fertilizer application correct with regard to soil fertility, yield, and profit? In: Dlingung, Umwelt, NahrungsqualiUit, p. 152-168. VDLUFA, Darmstadt 1978

FUCHS, W.: (G) Investigations on the effect of nitrogen fertilization on the setting and the development of the yield character 'number of spikelets per ear' in case of winter rye, winter wheat, and two row spring barley. Arch. Acker- u. Pflanzenbau and Bodenkd. 19, (4) 277-286 (1975)

FULTON, J. M.: Stomatal aperture and evapotranspiration from field grown potatoes. Canad. J. Plant Sci. 47, 109-111 (1967)

GARTEL, W.: (G) lnvestigations into the potassium and magnesium contents of grapes. Weinberg u. Keller 2, 368-375 (1955)

GARTEL, W.: (G) The cause of chlorosis in compact calcareous soils. Weinberg u. Keller 12, 143-164 (1965)

GARTEL, W.: (G) Excess phosphate application - the reason for zinc deficiency in grapes. Der Deutsche Weinbau 23, 916 - 918 (1968)

GARTEL, W.: (G) The micronutrients - their importance for the nutrition of grapes with particular regard to deficiency and toxicity symptoms. Weinberg u. Keller 21, 435-507 (1974)

GALE, J. and HAGAN, R. M.: Plant antitranspirants. Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 269-282 (1966)

GALE, M.D.: Genetic variation for hormonal activity and yield. In: Crop Physiology and Cereal Breeding, p.29-34. Proc. Eucarpia Workshop, Wageningen, Netherlands, Nov. 1978

GANJE, T.J.: Selenium, p. 394-404. In H.D. CHAPMAN: Diagnostic Criteria

for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences (1966)

GANRY, F., GUIRAUD, G. and DOMMERGUES, Y.: Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy-pearl millet cropping system of Senegal. Plant and Soil 50, 647-662 (1978)

GANSSMANN, W.: (G) Investigations into the influence of silicic acid on the uptake of phosphoric acid and other nutrients. Die Phosphorsaure 22, 223-241 (1962)

GAPON, E. N.: On the theory of exchange adsorption in soils. J. Gen. Chern. (USS R) 3, 144 - 1 (I,I (1933)

GARDNER, D.J.C. and PEEL, A.J.: ATP in sieve tube sap from willow. Nature 222,774 (1969) GARDNER, E.H.: Potassium relationship in some British Columbia soils. Can. J. Soil Sci. 47, 49-53 (1967)

GARDNER, W. R.: Dynamic aspects of soil-water availability to plants. Ann. Rev. Plant Physio!. 16, 323-342 (1965)

GARTNER, J.A.: Effect of fertilizer nitrogen on a dense sward of Kikuyu. Paspalum and carpet grass. 2. Interactions with phosphorus and potassium. Queens!. J. of Agric. and Anim. Sci. 26, 365-372 (1969)

GASSER, J.K.R.: The eftlciency of energy used in the production of carbohydrates and lipids. . In: Fertilizer Use and Product ion of Carbohydrates and Lipids, p. 341-352. I nt. Potash Inst., Bern 1977

GASSER, J.K.R., GREENLAND, D.J. and RAWSON, R.A.C.: Measurement of losses from fertilizer nitrogen during incubation in acid sandy soils and during subsequent growth of ryegrass, using 15N-labelled fertilizers. J. Soil Sci. 18, 289-300 (1967)

GASSER, .I. K. R. and IORDANOU, I. G.: Effects of ammonium sulphate and calcium nitrate on the growth yield and nitrogen uptake of barley, wheat and oats. J. agric. Sci. 68, 307-316 (1967)

GEERING, H. R., HODGSON, .I. F. and SDANO, C.: Micronutrient cation

complexes in soil solution: IV. The chemical state of manganese in soil solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33,81-85 (1969)

GEIGER, D.R.: Phloem loading, p. 396-431. In: M.H.ZIMMERMANN and J.A. MILBURN: Transport in Plants I, Phloem Transport. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975

GEIGER, D.R.: Control of partitioning and export of carbon in leaves of higher plants. Bot. Gaz. 140,241-248 (1979)

GEIGER, D. R. and CATALDO, D. A.: Leaf structure and translocation in sugar beet. Plant Physiol. 44, 45-54 (1969)

GEIGER, D. R., SOVONICK, S. A., SHOCK, T. L. and FELLOWS, R.J.: Role of free space in translocation in sugar beet. Plant Physiol. 54, 892-898 (1974)

GWN, S.c. VAN DEN and PETIT, C.M.: Transport of divalent cations. Plant Physiol. 64, 954-958 (1979)

GEORGE, J.R., PINHEIRO, M.E. and BAILEY, T.B.: Long-term potassium requirements of nitrogen fertilized smooth brome-grass. Agron. J. 71, 586-591 (1979)

GERDEMANN, J.W.: Mycorrhizae. In: The Plant Root and its Environment (E.W. CARSON, ed.) p. 205-217. University Press of Virginia, Charlottesville 1974

GERLOFF, G.c.: Plant eftlciencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. In: Plant Adaption to Mineral Stress in Problem Soils. (M.J. WRIGHT and S.A. FERRARI, eds.) p. 161-173. Beltsville Maryland 1976

GERSON, D. F. and POOLE, R.J.: Chloride accumulation by mung bean root tips. A low affinity active transport system at the plasmalemma. Plant Physiol. 50, 603-607 (1972)

GIAQUINTA, R.: Possible role of pH gradient and membrane A TPase in the

loading of sucrose into the sieve tubes. Nature 267, 369-370 (1977)

GIAQUINTA, R.: Phloem loading of sucrose. Involvement of membrane ATPase and proton transport. Plant Physiol. 63, 744-748 (1979)

GlAQUINTA, R. T. and GEIGER, D. R.: Mechanism of inhibition of translocation by localized chilling. Plant Physiol. 51, 372-377 (1973)

GIBBON, D. P., HOLLIDAY, R., MATHEI, F. and LUPI, G.: Crop production potential and energy conversion efficiency in different crops. Ex. Agric. 6, 197-204 (1970)

GIBBS, M. and CALO, N.: Factors affecting light induced fixation of carbon dioxide by isolated spinach chloroplasts. Plant Physiol. 34, 318-323 (1959)

GIORDANO, P.M., KOONTZ, H.V. and RUBINS, £..1.: C-14 distribution in photosynthate of tomato as influenced by substrate copper and molybdenum level and nitrogen source. Plant and Soil 24,437-446 (1966)

GIORDANO, P. M. and MORTVEDT, .J.J.: Agronomic effectiveness of micronutrients in macronutrient fertilizers. In: Micronutrients in Agriculture, p. 505-524 (1972)

GIORDANO, P. M., NOGGLE, J.C. and MORTVEDT, J.J.: Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors and competing cations. Plant and Soil 41, 637-646 (1974)

GISIGER, L. and HASLER, A.: (G) wauses of grey speck in oats. Plant and Soil 1, 19-30 (1949)

GISKIN, M. and MAJDAN, A.: Problems of plant nutrition and fertilizer use on Huleh muck soils, p. 249-252. In: Transition from Extensive to Intensive Agriculture with Fertilizers. Proc. 7th Colloq. Intern. Potash Institute, Berne 1969

GLASS, A.D.M.: Regulation of potassium absorption in barley roots. An

allosteric model. Plant Physiol. 58, 33-37 (1976)

GLASS, A.D.M. and DUNLOP, J.: The influence of potassium content on the kinetics of K^+ influx into excised ryegrass and barley roots. Plant a 141, 117-119 (1978)

GLASS, A.D.M. and PERLEY, J.E.: Varietal differences in potassium uptake by barley. Plant Physiol. 65,160-164 (1980)

GLYNNE, M.D.: Effect of potash on powdery mildew in wheat. Plant Path. 8,15-16 (1959) GORING, H. and BUI Huy THIEN: Influence of nutrient deficiency on prolins accumulation in the cytoplasm of Zea mays L. seedlings. Biochem. Physiol. Pflanzen 174, 9-16 (1979)

GaRLITZ, H.: (G) Effect of fertilizer application on properties of potato starch. In: Mineralstoffversorgung von Pflanze und Tier, S. 93-100, Tagungsberichte Nr. 85, Dt. Akad. d. Landw. 'Niss. Berlin 1966

GOLDBACH, H. and MICHAEL, G.: Abscisic acid content of barley grains during ripening as affected by temperature and variety. Crop Sci. 16, 797-799 (1976)

GOLDBACH, E., GOLDBACH, H., WAGNER, H. and MICHAEL, G.: Influence of N - deficiency on the abscisic acid content of sunflower plants. Physiol. Plant. 34, 138-140 (1975)

GOLDSCHMIDT, V. M.: Geochemistry. Oxford Univ. Press (Clarendon), London and New York 1954

GOLLMICK, F., NEUBERT, P. and VIELEMEYER, H. P.: (G) Possibilities and limitations of plant analysis in estimating the nutrient requirement of crops. Fortschrittsberichte Ld. Landw. u. Nahrungsguterwirtschaft 8, H. 4 (1970), Dt. Akad. d. Landw. Wiss. Berlin GOOR, B.J. VAN, and WIERSMA, D.: Redistribution of potassium, calcium, magnesium and manganese in the plant. Physiol. Plant. 31, 163-168 (1974)

GORDON, W.R., SCHWEMMER, S.S. and HILLMAN W.S.: Nickel and the

metabolism of urca by Lemna pancicostata. Hegelm 6746. Planta 140, 265-268 (1978)

Goss, R.L.: The effects of potassium on disease resistance, p.221-241. In: The Role of Potassium in Agriculture, Madison, USA, 1968

Gosw AMI, A. K. and WILLCOX, J. S.: Effect of applying increasing levels of nitrogen to ryc grass. I. Composition of various nitrogenous fractions and free amino acids. J. Sci. rood Agric. 20, 592-595 (1969)

GOUY, G.: (G) quoted from D. KORTUM: Textbook of Electrochemistry, p. 345. VerI. Chemic. Weinheim 1957

GRAFF, O. and KUHN, H.: (G) Influence of the earthworm Lumbricus terrestris L. on the yicld and nutrient effect of a straw application. Landw. Forsch. 30, 86-93 (1977)

GRAHAM, E. R. and Fox, R. L.: Tropical soil potassium as related to labile pool and calciulll exchange equilibria. Soil Sci. 111, 318-322 (1971)

GRAHAM, E. R. and KAMPBELL, D.H.: Soil potassium availability and reserve as related to tllc isotopic pool and calcium exchange equilibria. Soil Sci. 106, 101-106 (1968)

GRAHAM, E. R. and LOPEZ, P. L.: Freezing and thawing as a factor in the release and fixation of soil potassium as demonstrated by isotopic exchange and calcium exchange equilibria. Soil Sci. 108, 143-147 (1969)

GRAHAM-BRYCE, 1. J.: The movements of potassium and magnesium ions in soil in relation III their availability. Techn. Bull. Nr. 14 'Soil Potassium and Magnesium', p. 20-32; Mini'll Y of Agriculture, Fisheries and Food, London 1967

GRAUPE, B.: (G) Molybdenum metabolism or ruminants, p. 309-317. In: Mincralstoffrvsorgung von Pflanze und Tier, Tagungsberichte Nr.85, Dt. Akad. d. Landw. Wiss Berlin 1966

GRAVEN, E.H., ATTOE, O.J. and SMITH, D.: Effect of liming and flooding on manganese toxicity in alfalfa. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29, 702-706 (1965)

GREEN, J.F. and MUIR, R. M.: The clrect of potassium on cotyledon expansion induced by cytokinins. Plant Physiol. 43, 213-218 (1978)

GREENWAY, H. and MUNNS, R.: Mechanism or salt tolerance in non halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31, 149-190 (1980)

GREENWAY, H. and PITMAN, M. G.: Potassium retranslocation in seedlings of Hordeum vulgare, Aust. J. bioI. Sci. 18,235-247 (1965)

GREENWOOD, D.J.: Studies on the distribution of oxygen around the roots of mustard seedlings (Sinapis alba L.). New Phytol. 70,97-101 (1971)

GREENWOOD, D.J.: Fertilizer food production: world scene. Fertilizer Research 2,31-51 (1981)

GREENWOOD, D.J., CLEAVER, I.J. and TURNER, M. K.: Fertilizer requirements of vegetable crops, p. 4-30. The Fertilizer Soc., London 1974

GREENWOOD, D.J., CLEAVER, T.J., TURNER, M.K., HUNT, J., NIENDORF, K.B. and LOQUENS, S.M.H.: Comparison of the efTects of nitrogen fertilizer on the yield, nitrogen content and quality of 21 different vegetable and agricultural crops. J. agric. Sci. 95, 471-485 (1980)

GRIMME, H.: (G) Adsorption or Mn, Co, Cu, and Zn to goethite in dilute solutions. Z. Pflanzenernahr. Boden k. 121, 58-65 (1968)

GRIMME, H.: Potassium release in relation to crop production. In: Potassium Research and Agricultural Production, p. 113-1 18, 10th Congr. Int. Potash Inst., Bern 1974

GRIMME, H.: Magnesium diffusion in soils at different water and magnesium contents. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 134,9-19 (1973)

GRIMME, H., VON BRAUNSCHWEIG, L. C. and NEMETH, K.: (G) Potassium, calcium and magno: sium interactions as related to cation uptake and yield. Landw. Forsch. 30/lI. Sonderh.,93-100 (1974)

GRIMME, H., NEMETH, K. and VON BRAUNSCHWEIG, L. C.: (G) Relationships between the behaviour of potassium in the soil and the potassium nutrition of plants. Landw. Forsch. 26/I. Sonderh., 165-176 (1971)

GROSSE-BRAUCKMANN, E.: (G) Influence of N, CaO and P,Os on Si02 uptake by cereals. Landw. Forsch. 9, 196-203 (1956)

GRUNWALDT, H. S.: (G) Investigations into the sulphur content of soils in Schleswig - Holstein. Diss. Landw. Fakultat, Kiel 1969

GUCKERT, A., BREISCH, H. and REISINGER, G.: (F) Interface soil-roots I. Electron microscopic study on the relationship between mucilage, clay minerals and microorganisms. Soil Biol. Biochem. 7, 241-250 (1975)

GUERRERO, M.G., VEGA, J.M. and LOSADA, M.: The assimilatory nitrate reducing system and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 32,169-204 (1981)

GUIRAUD, G. and BERLIER, Y.: (F) Investigations with N-15 on denitrification in soils particularly in association with incorporated straw. Compt. Rend. 1000 - 1007 (1969)

GUKOVA, M. M. and TJULlNA, O. V.: (R) Effect of potassium on the nitrogen uptake by leguminous crops. Izvestija Timirjazevskoy sel'skochozjajstvennoj akademii, Moskva Nr. 3, 100 - 109 (1968)

GUNSALUS, I.e., PEDERSEN, T.C. and SLIGAR, S.G.: Oxygenase catalysed biological hydroxylations. Ann. Rev. Biochem. 44, 317-340 (1975)

GUPTA, U.e.: Boron nutrition of crops. Adv. Agron. 31, 273-307 (1979)

GUPTA, U.e. and CUTCLIFFE, J .A.: Effects of methods of boron application on leaf tissue concentration or boron and control of brown-heart in

rutabaga. Can. J. Plant Sci. 58, 63-68 (1978)

GUSTAFSON, F.G. and SCHLESSINGER, M.J.: Absorption of 6° Co by bean plants in the dark. Plant Physiol. 31, 316-318 (1956)

GUTSTEIN, Y.: The uptake or nitrogen, potassium and sodium and their interrelated en'ects on yield and quality composition of sugar beet. Qualit. plant. materiae veg. 15,1-28 (1967)

HABER, A.H. and TOLBERT, N.E.: Metabolism of C-14-bicarbonate, P-32-phosphate or S-35-sulfate by lettuce seed during germination. Plant Physiol. 34, 376-380 (1959)

HACKETT, c.: Ecological aspects of the nutrition of Deschampsia jfexuosa (L.) Triu. 1. The effect of aluminium, manganese and pH on germination. J. Ecol. (Oxford) 52, 159-167 (1964)

HADAS, A. and KAFKAFI, U.: Kinetics of the mineralization of ureaform as influenced by temperature. Soil Sci. 118, 16-21 (1974)

HAEDER,H. E.: (G) Potassium release of maturing barley. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 129, 125-132 (1971)

HAEDER, H. E.: (G) The influence of chloride nutrition in comparison with sulphate nutrition on assimilation and translocation of assimilates in potato plants. Landw. Forsch. 32/I. SH, 122-131 (1975)

HAEDER, H.E.: Effect of potassium nutrition on sink intensity and duration. In: Physiological Aspects of crop productivity, p. 185-194 Int. Potash Inst., Bern 1980

HAEDER, H.E., BERINGER, H. and MENGEL, K.: (G) Redistribution of. HC into the grains of two spring-wheat cultivars. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 140,409-419 (1977)

HAEDER, H. E. and MENGEL, K.: (G) The absorption of potassium and sodium in dependence on the nitrogen nutrition level of the plant. Landw. Forsch. 23/I. Sonderh., 53-60 (969)

HAEDER, H. E. and MENGEL, K.: Trans location and respiration of assimilates in tomato plants as influenced by K nutrition. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 131,139-148 (1972)

HAEDER, H.E., MENGEL, K. and FORSTER, H.: The effect of potassium on translocation or photosynthates and yield pattern of potato plants. J. Sci. Fd Agric. 24, 1479-1487 (1973)

HAGEMAN, R.H. and FLESHER, D.: Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. Plant Physiol. 35, 700-708 (1960)

HAGEMANN, O. and MOLLER, S.: (G) Investigations into the effect of pH on the recovery or fertilizer phosphate and on the metabolization of soil phosphates. Arch. Acker- u. Pflanzell bau u. Bodenk. 20, 805-815 (1976)

HAGSTROM, G. R. and BERGER, K. c.: Molybdenum deficiencies of Wisconsin soils. Soil Sci. 99, 52-56 (1965)

HAl, TANG VAN, and LAUDE LOUT, H.: (F) Absorption of phosphate by rice roots. Physiol. veg. 8, 13-24 (1966)

HAK, T. A.: Diseases of wheat, barley and rice and their control. 1. FAO/SIDA Seminar ror plant scientists from Africa and Near East, Cairo 1973, p. 542-549. FAO, Rome 1974 HALE, M.G. and MOORE, L.D.: Factors affecting root exudation ll: 1970-1978. Adv. Agroll, 31,93-124 (1979)

HALL, D. A.: The influence of varied calcium nutrition on the growth and ionic compostioll plants. Ph. D. Thesis. University of Leeds 1971

HALL, D.O.: Solar energy and biology for fuel food and fibre. TIBS 2, 99-101 (1977)

HALL, D.O., CAMMACK, R. and RAO, K. K.: Role for ferredoxins in the origin or lire alld biological evolution. Nature 233, 136-138 (1971)

HALL, S.M. and BAKER, D.A.: The chemical composition of Ricinus phloem

exudate. I'lallla 106,131-140 (1972)

HALLSWORTH, E.G., WILSON, S.B. and ADAMS, W.A.: Effect of co baIt on the non nodulated legume. Nature 205, 307 (1965)

HALLSWORTH, E. G., WILSON, S.B. and GREENWOOD, E. A. N.: Copper and cobalt in nitrogcl1 fixation. Nature 187, 79-80 (1960)

HAMISSA, M. R.: Fertilizer requirements for broad beans and lentils. First FAO/SI DA Semillar for Plant Scientists from Africa and Near East, Cairo 1973, p. 410-416. FAO, Romc 1971

HAMMOND, L.L., CHIEN, S.H. and POLO, J.R.: Phosphorus availability from partial acidulal i. 111 of two phosphate rocks. Fertilizer Research 1, 37-49 (1980)

HANOTIAUX, G.: (F) Soil sampling for chemical analysis. Bull. Rech. Agroll. dc Gcmbloll. N.S. 1, Nr. 3 (1966)

HANOTIAUX, G. and MANIL, G.: (F) Investigations into the dynamics or phosphorus Iliid potassium in the soil. Pedologie 13, 73-91 (1963)

HANSON, J. B. and BONNER, J.: The relationship between salt and water uptake in Jerusalem artichoke tuber tissue. Ann. .I. Bol. 41, 702-710 (1954)

HAQ, A. U. and MILLER, M. H.: Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. Agron. J. 64, 779-782 (1972)

HARLEY, J.L.: Mycorrhiza. Oxrord University Press 1971 HARMSEN, G. W.: (G) What does the content of soluble nitrogen in the soil mean? Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 84, 98-102 (1959)

HARRIS, P. and JAMES, A. T.: Eflect of low temperature on fatty acid biosynthesis in seeds. Biochim. Biophys. Acta 187,13-18 (1969)

HARRISON, M. A. and WALTON, D. C.: Abscisic acid in water stressed bean leaves. Plant Physiol. 56, 250-254 (1975)

HARTT, C. E. : Effect of potassium deficiency upon translocation of HC in

attached blades and entire plants of sugarcane. Plant Physiol. 44, 1461-1469 (1969)

HARTT, C. E.: Effect of potassium deficiency upon translocation of HC in detached blades of sugarcane. Plant Physiol. 45, 183-187 (1970)

HARTT, C. E.: Translocation of carbon-I 4 in sugarcane plants supplied with or deprived of phosphorus. Plant Physiol. 49, 569-571 (1972)

HAUCK, R. D.: Quantitative estimates of nitrogen - cycle - processes: Concepts and review. In: Nitrogen-15 in Soil Plant Studies, p. 65- 80. lAEA, Vienna 1971

HAY, R.K.M.: The temperature of the soil under a barley crop. J. Soil Sci. 27,121-128 (1976)

HAYAISHI, G.: Biological oxidations. Ann. Rev. Biochem. 31,25 - 46 (1962)

HAYMAN, D.S.: Mycorrhiza and crop production. Nature 287, 487-488 (1980)

HA YNES, R.J. and GOH, K. M.: Ammonium and nitrate nutrition of plants. BioI. Rev. 53, 465-510 (1978)

HEATHCOTE, R.C.: (G) Fertilization with potassium in the Savanna zone of Nigeria. Potash Review, Subject 16, 57th suite (1972)

HEATHERLY, L.G. and RUSSELL, W.J.: Effect of soil water potential of two soils on soybean emergence. Agron. J. 7/,980-982 (1979)

HEBER, U., KIRK, M. R., GIMMLER, H. and SCHAFER, G.: Uptake and reduction of glycerate by isolated chloroplasts. Planta 120, 32-46 (1974)

HEBER, U. and PURCZELD, P.: Substrate and product fluxes across the chloroplast envelope during bicarbonate and nitrite reduction. Proc. 4th Int. Congr. on Photosynthesis, p. 107 - 118 (1977)

HECHT-BuCHHOLZ, CH. and MARSCHNER, H.: (G) Changes in the fine structure of cells of maize root tips deprived of potassium. Z. Pflanzenphysiol. 63, 416-427 (1970)

HECHT-BuCHHOLZ, Ch., MIX, G. and MARSCHNER, H.: Effect of NaCI on mineral content and fine structure of cells in plants with different salt tolerance. In: Plant Analysis and Fertilizer Problems (J. WEHRMANN, ed.) p. 147-156. Greman Soc. Plant Nutrition, Hannover 1974

HEHL, G. and MENGEL, K.: (G) The effect of varied applications of potassium and nitrogen on the carbohydrate content of several forage crops. Landw. Forsch. 27/II. Sonderh., 117-129 (1972)

HEILENZ, S.: (G) Investigations into the lead content of plants on sites with heavy traffic. Landw. Forsch. 25/I. Sonderh., 73-78 (1970)

HELAL, H.M. and MENGEL, K.: Nitrogen metabolism of young barley plants as affected by NaCI-salinity and potassium. Plant and Soil 51, 457 - 462 (1979)

HELAL, H.M. and MFNCEL, K.: Interaction between light intensity and NaCI salinity and their eflects on growth, CO, assimilation, and photosynthetic conversion in young broad beans. Plant Physiol. 67, 999-1002 (1981)

HELDT, H.W., .JA CHONG, C., MARONDE, D., HEROLD, A., STANKOVIC, Z.S., WALKER, D.A., KRAMINFR, A.. KIRK, M.R. and HEBER, U.: Role or orthophosphate alld other factors in the regulation or slarch formation in leaves and isolated chloroplasts. Plant Physiol. 59, 1146-1155 (1977)

HENCKEL, P.A. and SOLOVYOV, V. A.: Accumulation and distribution of sodium and potassium im pumpkin plants as a result of substrate salinization by sodium chloride and sodium sulphate. Fiziol. Rastenij 15, 521-529 (1968)

HENDERSON, G.S. and STONE, E.L. jr.: Interactions of phosphorus availability, mycorrhiza and soil fumigation on coniferous seedlings. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 34, 314-318 (1970)

HENDRICKSON, L.L., WALSH, L.M. and KEENEY, D.R.: Effectiveness of nitrapyrin in controlling nitrification offall and spring applied anhydrous ammonia. Agron. J. 70, 704 - 708 (I 978a)

HENDRICKSON, L. L., KEENEY, D.R., WALSH, L.M. and LIEGEL, E.A.: Evalution of nitrapyrin as a means of improving N efficiency in irrigated sands. Agron J. 70, 699-704 (I 978b)

HENDRIX, J. E.: The effect of pH on the uptake and accumulation of phosphate and sulfate ions by bean plants. Amer. J. Bot. 54, 560-564 (1967)

HENKENS, C.H.: (G) General lines for the application of trace elements in Holland. Landw. Forsch. 18, 108-116 (1965).

HENTSCHEL, G.: The uptake of 15N-Iabelled urea by bush beans. In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant, p. 30-34. University of Leeds, Agricultural Chemistry Symposium 1970

HERRMANN, B.: (G) Fatty acid composition of the crude fat fraction of winter rape seed as influenced by nitrogen fertilization. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenk. 21, 141-148 (1977)

HERZOG, H. and GEISLER, G.: (G) Effect of cytokinin application on assimilate storage and endogenous cytokinin activity in the caryopsis of two spring wheat cultivars. Z. Ackerund Pflanzenbau 144, 230-242 (1977)

HESSE, P. R.: A Textbook of Soil Chemical Analysis, John Murray London 1971

HEWITT, E.J.: Relation of manganese and other metal toxicities to the iron status of plants. Nature 161,489-490 (1948)

HEWITT, E.J.: Metal interrelationship in plant nutrition. 1. Exper. Bot. 4, 59-64 (1953)

HEWITT, E. J.: Essential nutrient elements for plant, p. 137-360. In: Plant

Physiology, Vol. III, Inorganic Nutrition of Plant. Academic Press 1963
HEWITT, E.J.: Physiological and biochemical factors which control the assimilation of inorganic nitrogen supplies by plants, p. 78-103. In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant. The University Leeds 1970
HEWITT, E. J.: Assimilatory nitrate-nitrite reduction. Ann. Rev. Plant Physiol. 26, 73-100 (1975)
HEWITT, E.J. and AGARWALA, S. C.: Reduction of triphenyltetrazolium chloride by plant tissue and its relation to the molybdenum status. Nature 169, 545-546 (1952)
HEWITT, E.J., BOLLE-JONES, E. W. and MILES, P.: The production of copper, zinc and molybdenum deficiencies in crop plants grown in sand culture with special reference to some effects of water supply and seed reserves. Plant and Soil 5, 205-222 (1954)
HEWITT, E.J. and GUNDRY, C.S.: The molybdenum requirement of plants in relation to nitrogen supply. J. Hort. Sci. 45, 351-358 (1970)
HEWITT, E.I. and SMITH, T.A.: Plant Mineral Nutrition. English Univ. Press London 1975
HIATT, A.l.: Reactions in vitro of enzymes involved in CO2 fixation accompanying salt uptake by barley roots. Z. Pflanzenphysiol. 56, 233-245 (1967)
HIATT, A. J.: Relationship of cell sap pH to organic acid change during ion uptake. plant Physiol. 42, 294 - 298 (1967)
HIATT, A. J. and LEGGETT, .J.E.: Ionic interactions and antagonism in plants, p. 101-134. 111' E. W. CARSON: The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia, Charlottesville 1974
HIGINBOTHAM, N.: The mineral absorption process in plants. The Botanical Review 99, 15-69 (1973)

HIGNETT, T. P.: Liquid fertilizer production and distribution. UNO, Second Interregionm Fertilizer Symposium, Kiev, Ukraine, 1971; New Delhi, India, 1971

HILDEBRANDT, E.A.: (G) Uptake and degradation of nitrosamines in sunflower seedlings. Landw. Forsch. Sonderh. 36, 187-195 (1979)

HILL, J.M.: The changes with age in the distribution of copper and some copper containing oxidase in red clover (Trifolium pratense L. cv Dorset Marlgrass). 1. Exp. Bot. 24, 525-536 (1973)

HINKLE, P.C. and MCCARTY, R.E.: How cells make ATP. Sci. American 238,104-123 (1978)

HINGSTON, F.J., POSNER, A.M. and QUIRK, J.P.: Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. 1. Soil Sci. 23, 177-193 (1972)

HIPP, B. W. and THOMAS, G. W.: Method for predicting potassium uptake by grain sorghum. Agron. 1. 60, 467-469 (1968)

HOAGLAND, D. R. : Lectures on the inorganic nutrition of plants, p. 48-71. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass. USA 1948 HODGES, T. K.: Ion absorption by plant roots. Advances in Agronomy 25, 163-207 (1973)

HODGES, T. K.,. LEONARD, R. T., BRACKER, C. E. and KEENAN, T. W.: Purification of an ion stimulated adenosine triphosphatase from plant roots: association with plasma membranes. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 69, 3307-3311 (1972)

HODGSON, J. F., LINDSAY, W. L. and TRIERWEILER, .I. F.: Micronutrient cation complexing in soil solution. 11. Complexing of zinc and copper in displacing solution from calcareous soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 723-726 (1966)

HOLL, W.: (G) The symbiosis between legumes and bacteria of the genus

Rhizobium. Naturw. Rdsch. 8, 281-289 (1975)

HOJJATI, S. M. and MALEKI, M.: Effect of potassium and nitrogen fertilization on lysine, methionine and total protein contents of wheat grain, Triticum aestivulll L. em. Theil. Agron. J. 64, 46-48 (1972)

HOJMARK, I. V.: Placement of NPK fertilizer for potatoes. Tidsskrift for Planteavl 76, 196-208 (1972)

HOLDER, C.B. and BROWN, K.W.: The relationship between oxygen and water uptake by roots of intact bean plants. Soil Sci. Soc. Am. 1. 44, 21-25 (1980)

HOLFORD, 1. C. R.: Effects of phosphate buffer capacity of soil on the phosphate requirements of plants. Plant and Soil 45, 433-444 (1976)

HOLFORD, l.C.R. and MATTINGLY, G.E.G.: Phosphate sorption by jurassic oolitic limestones Geoderma 13, 257-264 (1975)

HOLLIDAY, R.: Effects offertilisers upon potato yields and quality. In :.J. D. Invince and F. L. MILTHORPE: The Growth of the Potato, p. 248-264. Butterworths, London 1963

HOLLIDAY, R.: The efficiency of solar energy conversion by the whole crop. In: DUCKHAM, A.N., JONES, 1.G.W. and ROBERTS, E.H.: Food Production and Consumption. P. 127-146. North Holland Publishing Company, Amsterdam, Oxford 1976

HOLM-HANSEN, G., GERLOFF, G. C. and SKOOG, F.: Cobalt as an essential element for bluegreen algae. Physiol. Plant. 7, 665-675 (1954)

HOMANN, P. E.: Studies on the manganese of the chloroplast. Plant Physiol. 42, 997-1007 (1967)

HONERT, TH. VAN DEN: Water transport in plants as a catenary process. Disc. Faraday Soc. 3, 146-153 (1948)

HOOGERKAMP, M.: Ley, periodically reseeded grassland or permanent grassland. Agric. Res. Rep. 812, 5-35 (1974)

HOOKER, A. L.: Plant nutrients on stalk rot and lodging. Better Crops with Plant Food 50,6-9 (1966)

HOOKER, M.L., SANDER, D.H., PETERSON, G.A. and DAIGGER, L.A.: Gaseous N losses from winter wheat. Agron. 1.72,789-792 (1980)

HOPKINS, H. T.: Absorption of ionic species of orthophosphate by barley roots: effects of 2,4- dinilrophenol and oxygen tension. Plant Physiol. 31,155-161 (1956)

HOPKINS, H. T., SI'ECIIT, A. W. and HENDRICKS, S. B.: Growth and nutrienl accuillulation as controlled by O.xygen supply (0 plant roots. I'lanl Physiol. 25, 193-208 (1950)

HORST, W.J. and MARSCHNER, H.: Effect of excessive manganese supply on uptake and translocation of calcium in bean plants (Phaseolus vulgaris L.). Z Pflanzenphysiol. 87, 137-148 (1978a)

HORST, W.J. and MARSCHNER, H.: Effect of silicon in manganese tolerance of bean plants (Phaseolus vulgaris L). Plant on Soil 50, 287-303 (l978b)

HOSSNER, L.R., FREEOUF, J.A. and FOLSOM, B.L.: Solution phosphorus concentration and growth of rice (Oryza sativa L.) in flooded soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 37,405 - 408 (1973)

HSIAO, T. C.: Rapid changes in levels of polyribosomes in Zea mays in response to water stress. Plant Physio!. 46, 281-285 (1970)

HSIAO, T. c.: Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physio!. 24, 519-570 (1973)

HSIAO, T. C., ACEVEDO, E., FERERES, E. and HENDERSON, D. W.: Water stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. Royal Soc. London 273, 479-500 (1976)

HSIAO, T. C., HAGEMAN, R. H. and TYNER, E.H.: Effects of potassium nutrition on protein and total free amino acids in Zea mays. Crop Sci. 10, 78-82 (1970)

HUBER, D.M., WARREN, H.L., NELSON, D.W. and TSAI, C.Y.: Nitrification inhibitors - new tools for food production. Bio Science 27, 523-529 (1977)

HUBER, D.M., WARREN, H.L., NELSON, D.W., TSAI, C.Y. and SHANER, G.E.: Response of winter wheat to inhibiting nitrification of fall-applied nitrogen. Agron. J. 72, 632-637 (1980)

HUFFMAN, E.W.D. and ALLAWAY, W.H.: Growth of plants in solution culture containing low levels of chromium Plant Physio!. 52, 72-75 (1973)

HUGHES, J. C. and SWAIN, T.: After-cooking blackening in potatoes. 11. Core experiments. J. Sci. Fd Agric. 13, 229-236 (1962)

HUGHES, J. D. and SEARLE, P. G.E.: Observations on the residual value of accumulated phosphorus in a red loam. Aust. J. Agric. Res. 15, 377-383 (1964)

HULPOI, N., PICU, 1. and TIANU, A.: (Ru) Researches concerning the application of fertilizers to irrigated field crops. Probleme Agricole Nr.8, August 1971, Ministerul Agriculturii, Industriei Alimentare, Silviculturii Si Apeor, Rumania

HUMBLE, G. D. and HSIAO, T. C.: Specific requirement of potassium for light-activated opening of stomata in epidermal strips. Plant Physiol. 44, 230-234 (1969)

HUMBLE, G. D. and HSIAO, T. c.: Light-dependent influx and efflux of guard cell potassium during stomatal opening and closing. Plant Physiol., Suppl. 44, Nr. 97, p. 21 (1969)

HUMBLE, G. D. and HSIAO, T. C.: Light -dependent influx and efflux of potassium of guard cells during stomatal opening and closing. Plant Physiol. 46, 483 - 487 (1970)

HUMBLE, G. D. and RASCHKE, K.: Stomatal opening quantitatively related

to potassium transport. Plant Physiol. 48, 447-453 (1971)

HUNDT, I., SCHILLING, G., FISCHER, F. and BERGMANN, W.: (G) Investigations on the influence of the micro-nutrient boron on nucleic acid metabolism. Thaer-Arch. 14: 725-737 (1970)

HUNTER, T. G. and VERGNANO, G.: Trace element toxicities in oats. Ann. App. Biol 40, 761-777 (1953)

HUPPERT, V. and BUCHNER, A.: (G) Recent experimental results on the effect of several N forms with particular regard to environmental conditions. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 60, 62-92 (1953)

HURD-KARRER, A. M.: Comparative fluorine uptake by plants in limed and unlimed soil. Soil Sci. 70, 153-159 (1950)

HUTCHIN, M. E. and VAUGHAN, B. E.: Relation between simultaneous Ca and Sr transporl rates in isolated segments of vetch, barley and pine roots. Plant Physio!. 43, 1913-1918 (1968)

HUTCHINSON, T. c.: Lime-chlorosis as a factor in seedling establishment on calcareous soils. 1. A comparative study of species from acidic and calcareous soils in their suscep!ibil ity to lime-chlorosis. New Phytol. 66, 697-705 (1967)

HYDE, B.B., HODGE, A. J., KAliN, A. and BIRNSTlEL, M. L.: Studies in phytoferritin. 1. Identification and localization. J. Ultrastruc. Res. 9, 248-258 (1963)

HYLTON, L. G., ULRICH, A. and CORNELIUS, D. R.: Potassium and sodium interrelations in growth and mineral content of Italian ryegrass. Agron. J. 59, 311-314 (1967)

ILJIN, W. S.: Metabolism of plants affected with lime-induced chlorosis (calciose). Plant and Soil 3, 239-256 and 339-351 (1951)

ISERMANN, K.: (G) The effect of adsorption processes in the xylem on the calcium distribution in higher plants. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 126,

191-203 (1970)

ITAI, C., RICHMOND, A. and V AADIA, Y.: The role of root cytokinins during water and salinity stress. Israel J. Bot. 17, 187-195 (1968)

IVANOV, S.: (G) The climatic zones of the earth and the chemical activities of plants. In: ABDERHALDEN: Fortschr. d. naturwiss. Forsch. N. F. Heft 5, S. 1, Berlin u. Wien 1929

JACKSON, B.L.J. and DURING, C.: Studies of slowly available potassium in soils of New Zealand. r. Effects of leaching, temperature and potassium depletion on the equilibrium concentration of potassium in solution. Plant and Soil 51, 197-204 (1979)

JACKSON, M.L.: Soil Chemical Analysis, Constable 1958

JACKSON, P. C. and EDWARDS, D. G.: Cation effects on chloride fluxes and accumulation levels in barley roots. J. Gen. Physiol. 50, 225-241 (1966)

JACKSON, P. C. and HAGEN, C. E.: Products of orthophosphate absorption by barley roots. Plant Physiol. 35, 326-332 (1960)

JACKSON, W.A. and YOLK, R.J.: Role of potassium in photosynthesis. In: The role of Potassium in Agriculture. (V.J. KILMER, S.E. YOUNTS and N.C. BRADY, eds.) p. 109-145. Am.Soc. Agron. Madison, USA 1968

JACKSON, W. A. and YOLK, R.J.: Photorespiration. Ann. Rev. Plant Physiol. 21,385-432 (1970)

JACOB, A. and v. UEXKULL, H.: Fertilizer use, nutrition and manuring of tropical crops. 3rd ed. Verlagsges. f. Ackerbau, Hannover 1963

JACOBSON, B. S., FONG, F. and HEATH, R. L.: Carbonic anhydrase of spinach. Studies on its location, inhibition and physiological function. Plant Physiol. 55, 468-474 (1975)

JACOBSON, J.A., OVERSTREET, L., KING, R.and HANDLEY, H. M.: A study of potassium absorption by barley roots. Plant Physiol. 25, 639-

647 (1950)
JACOBSON, K.: Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to their chlorophyll content. Plant Physiol. 20, 233-245 (1945)
JACOBSON, L.: Carbon dioxide fixation and ion absorption in barley roots. Plant Physiol. 30, 264-269 (1955)
JACOBSON, L., MOORE, D. P. and HANNA PEL, R.J.: Role of calcium in absorption of monovalent cations. Plant Physio!. 35, 352-358 (1960)
JACOBSON, L. and OERTLI, J.J.: The relation between iron and ch I orophyll contents in chlorotic sunflower leaves. Plant Physiol. 31, 199-204 (1956)
JACOBY, B., ABAS, S. and STEINITZ, B.: Rubidium and potassium absorption by bean-leaf slices compared to sodium absorption. Physiol. Plant. 28, 209-214 (1973)
JAGENDORF, A.T.: Photophosphorylation. In: Photosynthesis I, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 5 (A. TREBST and M. ARNON, eds.) p. 307-337. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1977
JAHN-DEESBACH, W. and MAY, H.: (G) The effect of variety and additional late nitrogen application on the thiamin (vitamin B,) content of the total wheat grain, various flour types, and secondary milling products. Z. Acker- u. Pflanzenbau135, 1-18 (1972)
JAHN-DEESBACH, W. and WEIPERT, D.: (G) Investigations into the influence of nitrogen application on the yield and technological properties of wheat. Landw. Forsch. 18, 132-145 (1965)
JAMES, D. W., JACKSON, T. L. and HARWARD, M. E.: Effects of molybdenum content of alfalfa grown in acid soils. Soil Sci. 105, 397-402 (1968)
JAMES, D. W., WEAVER, W. H. and REEDER, R.L.: Chloride uptake by potatoes and the effects of potassium, chloride, nitrogen and phosphorus

fertilization. Soil Sci. 109,48-52 (1970)

JARVIS, S.c., JONES, L.H.P. and HOPPER, M.J.: Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. Plant and Soil 44, 179-191 (1976)

JASPER, D.A., MANDAL, R., OSMAN, K.T.: Phosphorus and the formation of vesicular arbuscular mycorrhizas. Soil BioI. Biochem. 11,501-505, 1979.

JEFFREYS, R. A. and WALLACE, A.: Detection of iron ethylene-diamine di (O-hydroxy-phenylacetate) in plant tissue. Agron. J. 60, 613-616 (1968)

JENKINSON, D. S., NOWAKOWSKI, T. Z. and MITCHELL, J. D. D.: Growth and uptake of nitrogen by wheat and ryegrass in fumigated and irradiated soil. Plant and Soil 36, 149-158 (1972)

JENNER, C.F.: The conversion of sucrose to starch in developing fruits. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 93, 289-298 (1980)

JENNER, C.F. and RATHJEN, AJ.: Factors regulating the accumulatiofl of starch in ripening wheat grain. Aust. J. Plant Physiol. 2, 311-322 (1975)

JENNINGS, D.H.: The effects of sodium chloride on higher plant BioI. Rev. 51, 453-486 (1976)

JENNY, H. and OVERSTREET, R.: Contact effects between plant roots and soil colloids. Proc. Nat. Sci. 24, 384-392 (1938)

JENSEN, H. L.: A survey of biological nitrogen fixation in relation to the world supply of nitrogen. Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci. (Amsterdam) I, 165-172 (1950)

JESCHKE, W. D.: (G) Cyclic and non cyclic photophosphorylation as energy source for the light dependent chloride uptake of Elodea. Planta 73,161-174 (1967)

JOHAM, H. J.: Accumulation and distribution of molybdenum in the cotton plant. Plan t Physiol. 2S, 275-280 (1953)

JOHANSEN, C., EDWARDS, D. G. and LONE RAGAN, J. F.: Potassium fluxes during potassium absorption by intact barley plants of increasing potassium content. Plant Physiol. 45, 601-603 (1970)

JOHNSON, C.M.: Molybdenum, p. 286-301. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils, ed. Chapman, 1966

JOHNSON, C.M., STOUT, P.R., BROYER, T.C. and CARLTON, A.B.: Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and SoilS, 337-353 (1957)

JOHNSON, D. L. and ALBERT, L. S.: Effect of selected nitrogen bases and boron on the ribonucleic acid content, elongation and visible deficiency symptoms in tomato root tips. Plant Physiol. 42, 1307-1309 (1967)

JOHRI, B. M. and VASIL, 1. K.: Physiology of pollen. Bot. Rev. 27, 325-381 (1961)

JONES, .I. B. jr.: Distribution of 15 elements in corn leaves. Commun Soil Sci. Plant Anal. 1, 27-34 (1970)

JONES, L. H. P.: Effect of liming a neutral soil on the cycle of manganese. Plant and Soil s, 31 5-327 (1957)

JONES, L.H.P. and HANDRECK, K.A.: Silica in soils, plants and animals. Adv. in Agronolny 19,107-149 (1967)

JONES, L. H. P. and HANDRECK, K. A.: Studies of silica in the oat plant. III. Uptake or sili1 from soils by the plant. Plant and Soil 23, 79-96 (1965)

JONES, R.L. HINESLY, T.D., ZIEGLER, E.L. and TYLER, J..I.: Cadmium and zinc contcnls of corn leaf on grain produced by sluge amended soil. J. Environ. Qual. 4, 509-514 (1970)

JUDEL, G.K.: (G) Fixation and mobilization of boron in soils with high B contents toxic of crops. Landw. Forsch. Sonderh. 34/II, 103-108 (1977)

JUNG, .I. and DRESSEL, .I.: (G) Behaviour of magnesium in soil and plants studied in a Iysimer, experiment lasting 10 years. Z. Acker- u.

Pflanzenbau 130,122-135 (1969)
JUNG, .J., KOCH, H., RIEBER, N. and WURZER, B.: (G) Growth regulating action or tria and aziridine derivatives of norborneno-diazetine. Z. Ackcr- und Pflanzenbau 149, 128-136, (1980)
JUNGK, A.: (G) Effect of ammonium and nitrate nitrogen on the cation-anion balance in plants and its relationship to the yield. Landw. Forseh., Sonderh. 21, 50-63 (1967)
JUNGK, A.: (G) Content of minerals and water in dependence on the development of plants. Z. PfJanzenerniihr. Bodenk. 125, 119-129 (1970)
JURINAK, J.J. and INOUYE, T.S.: Some aspects of zinc and copper phosphate formation in aqueous systems. Soil Sci. Amer. Proc. 26, 144-147 (1962)
.JYUNG, W. H., EHMANN, A., SCHLENDER, K. K. and SCALA, J.: Zinc nutrition and starch metabolism in Phaseolus vulgaris L. Plant Physiol. 55,414-420 (1975)
KAlLA, A.: Forms of newly retained phosphorus in mineral soils. J. Sci. agric. Soc. Finland 36,65-76 (1964)
KAlLA, A.: Potassium status in different particle size fractions of some finnish soils. J. Sci. Agric. Soc. Finland 39, 45-56 (1967)
KANDLER, 0.: (G) On the question of aerobic fermentation in root meristems. Planta 51, 544-546 (1958)
KANNAN, S. and JOSEPH, B.: Absorption and transport of Fe and Mn in germinating Sorghum. Plant Physiol. 55,1006-1008 (1975)
KANW AR, J. S. and SHAH SINGH, S.: Boron in normal and saline-alkali soils of the irrigated areas of the Punjab. Soil Sci. 92,207-211 (1961)
KARLEN, D. L., ARNY, D. C. and WALSH, L. M.: Incidence of chocolate spot, Northern corn leaf blight (Helminthosporium turcicum) and lodging of corn as influenced by soil fertility. Comm. in: Soil Science

and Plant Analysis 4, 359-368 (1973)

KATZNELSON, H.: The rhizosphere effect of mangels on certain groups of microorganisms. Soil Sci. 62, 343-354 (1946)

KAVANAU, J.L.: Structure and function in biological membranes, Vol. I, p. 132 ff. Holden-Day, Inc., San Francisco, London, Amsterdam 1965

KA W AT, K.: The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminium for characterizing andosols. Soil Sci. 129, 186-190 (1980)

KEENEY, D.R.: Protein and amino acid composition of maize grain as influenced by variety and fertility. J. Sci. Fd Agrie. 21,182-184 (1970)

KEERTHISINGHE, G. and MENGEL, K.: (G) Phosphate buffer power in various soils and its change due to phosphate ageing. Mitteilung. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft 29, 217 - 230 (1979)

KELLER, P. and DEUEL, H.: (G) Cation exchange equilibrium with dead plant roots. Trans. Comm. and IV. lnt. Soc. Soil Sci., Vol. 11, p. 164 - 168, Hamburg 1958, Verlag Chemie, WeinheimjBergstr. 1958

KELLEY, P.M. and IZAWA, S.: The role of chloride ion in photosystem If r. Effects of chloride on photosystem II electron transport and hydroxylamine inhibition. Biochim. Biophys. Acta 502, 198-210 (1978)

KELLY, G.J., LATZKO, E. and GIBBS, M.: Regulatory aspects of photosynthetic carbon metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 27, 181-205 (1976)

KEMMLER, G.: (G) Fertilizer application to modern rice- and wheat cultivars in developing countries, p. 545-563. 1n: Proc. VIJth Fertilizer World Congress, Vienna 1972

KEMP, A.: The effects of K and N dressings on the mineral supply of grazing animals. Potassium and Systcms of Grassland Farming. The Potassium Institute, Ltd., 1971, Proc. 1st Colloq.Ptass. Inst. ltd., p. 1-14 (1971)

KEMP, A., DEUS, W.B., HEMKES, 0..1. and VAN Es, A.J.H.:

Hypomagnesaemia in milking cows: intake and utilization or magnesium from herbage by lactating cows. Neth. J. agric. Sei. 9, 134-149 (1961)

KYES, A..J., Bum, 1.10., CORNELIUS, M..I., LliA, P.J., WALLSGROVE, R.M. and MIFLlN, 8..1.: Photorespiratory nitrogen cycle. Nature 275,741-743 (1978)

KHAN, A. A. and SAGAR, G. R.: Translocation in tomato: The distribution or the products or photosynthesis of the leaves or a tomato plant during the phase or food production. Hort. Res. 7, 60-69 (1967)

KHASAWNEH, F.E. and DOLL, E.C.: The use of phosphate rock for direct applications to soils. Adv. Agron. 30, 159-206 (1978)

KICK, K.: (G) On th nutrient content of Egyptian soils with particular reference to the micronutrients Cu, Zn and B. Z. Pflanzenernahr. Diing. Bodenk. lOO, 102-114 (1963)

KILBOURN, B. T., DUNITZ, J. D., PIODA, L.A.R. and SIMON, W.: Structure of the K^+ complex with nonactin, a macrotetrolide antibiotic possessing highly specific K^+ transport properties. J. Mol. BioI. 30, 559-563 (1967)

KIRKBY, E. A.: Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. Soil Sci. l05, 133-141 (1968)

KIRKBY, E. A.: Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition. In: I.H. RORISON: Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants, p. 215 - 235. British Ecological Society, Symposium No.9 (1969)

KIRKBY, E. A.: Recycling of potassium in plants considered in relation to ion uptake and organic acid accumulation. In: Plant Analysis and Fertilizer

Problems, Vol. 2, p. 557-568. Proc. 7th Intern. Colloq. Hanover 1974
KIRKBY, E.A.: Maximizing calcium uptake. Comm. Soil Sci Plant Anal. lO, 89-113 (1979)
KIRKBY, E.A.: Plant growth in relation to nitrogen supply. In: CLARKE, F.E. and ROSSWALL, T. eds. Terrestrial Nitrogen Cycles, Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts, p. 249-267, Ecol Bull Stockholm 33 (1981)
KIRKBY, E.A. and ARMSTRONG, M.J.: Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate assimilation in the shoot of castor oil plants. Plant Physiol 65, 286-290 (1980)
KIRKBY, E.A., ARMSTRONG, M.J. and LEGGETT, J.E.: Potassium recirculation in tomato plants in relation to potassium supply. J. Plant Nutr. 3, 955-966 (1981)
KIRKBY, E. A. and HUGHES, A. D.: Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism, p. 69-77 .In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant, Univ. of Leeds 1970
KIRKBY, E.A. and KNIGHT, A. H.: The influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation-anion balance in whole tomato plants. Plant Physiol. 60, 349-353 (1977)
KIRKBY, E. A. and MENGEL, K.: Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42, 6-14 (1967)
KIRKBY, E. A. and MENGEL, K.: Preliminary observations on the effect of urea nutrition on the growth and nitrogen metabolism of sunflower plants. In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant, p. 35-38. The University of Leeds 1970
KIRKBY, E. A. and MENGEL, K.: The role of magnesium in plant nutrition.

Z. Pflanzenern Bodenk. H. 2, 209-222 (1976)

KLAPP, E.: (G) Textbook of Husbandry and Crop. Science. 3rd. ed., p.63. P.-Parey-Verlag. Berlin 1951

KLEPPER, L. and HAGEMAN, R. H.: The occurrence of nitrate reductase in apple leaves. Planl Physiol. 44, 110-114 (1969)

KLIEWER, M. and EVANS, R.J.: Physiological studies on the BIz coenzyme content of nodub from legumes and alder of Rhizobium species. Plant Physiol. 37, 6-7 (1962)

KLIEWER, M. and EVANS, H. J.: BI2 coenzyme content of the nodules from legumes, alder and of Rhizobium meliloti. Nature 194, 108 (1962)

KLIEWER, M. and EVANS, H.J.: Identification of cobamide coenzyme in nodules of symbionl and isolation of the B12 coenzyme from Rhizobium meliloti. Plant Physiol. 38, 55-59 (1963)

KLIEWER, M. and EVANS, R.J.: Cobamide coenzyme contents of soybean nodules alld nitrogen fixing bacteria in relation to physiological conditions. Plant Physiol. 38, 99-101 (1963)

KLIEWER, W. M.: Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydralc' in Vitis villilera. I. Temperature. Plant Physiol. 39, 869-880 (1964)

KLUGE, M.: The flow of carbon in Crassulacean Acid Metabolism (CAM). In: Photosynthesis II, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO eds.) p. 112-123. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979

KNAUER, N.: (G) The effect of increasing phosphate rates on soil and plant during a long term fertilizer trial. Z. Acker- u. Pflanzenbau 124, 41-58 (1966)

KNAUER, N. and SIMON, e.: (G) The effect of nitrogen application on the yield and on the content of nitrate, minerals and oxalic acid in spinach.

Z. Acker- u. Pflanzenbau 128, 197-220 (1968)

KNIGHT, A. H. and CROOKE, W. M.: Interaction between nickel and calcium in plants. Nature 178, 220 (1956)

KOBLET, W.: (G) Trans]ocation of assimilates in grapes and the effect of the leaf area on the yield and the quality of grapes. Die Weinwissenschaft 24, 277-319 (1969)

KOCH, K.: (G) Culm stability and lodging susceptibility of cereals supplied with chlorocholine-chloride (CCC). Diss. Justus-Liebig-Universitat Giessen 1968

KOCH, K. and MENGEL, K.: The influence of potassium nutritional status on the absorption and incorporation of nitrate nitrogen. In: Plant Analysis and Fertiliser Problems, Vol. I, p. 209-218. Proc. 7th Intern. Colloq. Hanover 1974

KOCH, K. and MENGEL, K.: The effect of K on N utilization by spring wheat during grain formation. Agron. J. 69, 477- 480 (1977)

KAHN, W.: (G) Effect of]ong term tillage-fertilization and rotation measurements on chemical and physical properties and on the yield level of a loamy sand soil. Part 2. Long term changes in yield and investigations on yield components of cereals. Bayerisch. Landw. Jahrbuch Heft 4,419 - 442 (1976)

KOHNLEIN, J. and KNAUER, N.: (G) Results of long term fertilizer trials with phosphate and potash. Schriftenreihe der Landw. Fakultat der Univ. Kiel, Heft 39 (1965)

KOTTGEN, P.: (G) Determination of easily soluble nutrients released by electrical current, a means of estimation of the fertility status of agricultural soils. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 29A, 275-290 (1933)

KOLENBRANDER, G.J.: Does leaching of fertilizers affect the quality of

ground water at the waterworks? Stikstof 15,8-15 (1972)

KOMOR, E., ROTTER, M., WALDHAUSER, J., MARTIN, E. and CHO, RH.: Sucrose proton symport for phloem loading in the Ricillus seedling. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 93, 211-219 (1980)

KOMOR, E. and TANNER, W.: Can energy generated by sugar efflux be used for A TP synthesis in Chlorella. Nature 248,511-512 (1974)

KONZAK, e.F., POLLE, E. and KITTRICK, J.A.: Screening several crops for aluminium tolerance. In: M.J. WRIGHT, ed. Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils p. 311-327 Cornell University 1976

KOONTZ, H. V. and FOOTE, R.E.: Transpiration and calcium deposition by unifoliate leaves of Plwseolus vulgaris differing in maturity. Physiol. Plant. 19, 313-321 (1966)

KORENSKY, F. and NEUBERG, J.: Autumn application of anhydrous ammonia for spring cultures in Czechoslovakia. Rostlinmi Vyroba 14, 803-814 (1968)

KOVANCI, I., HAKERLERLER, H. and HaFNER, W.: (G) Cause of iron chlorosis in mandarins (Citrus rericlIlata blanco) in the Aegean area. Plant and Soil 50, 193-205 (1978)

KOWALENKO, C.G. and CAMERON, D.R.: Nitrogen transformations in soil-plant systems in three years or field experiments using tracer and non-tracer methods on an ammonium fixing soil. Can. .I. Soil Sci. 58, 195-208 (1977)

KOZMA, P.: Control or the Nutrition of the Cultivated Plants. 3rd Internationa] Colloqu. on Ihe Control or Planl Nutrition, Vol. I and II, Akademiai Kiado, Budapest (1975)

KRAMER, D., ROMHELD, V., LANDSBERG, E. and MARSCHNER, H.: Induction of transfer-cell formalion by iron deficiency in Ihe root epidermis L. Planta, 147, 335-339 (1980)

KRAMER, P. J. : Waler relations or plant cells and tissucs. Ann. Rev. Plant Physiol. 6, 253 - 272 (1955)

KRAUSE, W.: (G) Flora and vegetation on serpentine sites of the Balkan. Z. Pflanzenerniihr. Dung. Bodenk. 99, 97-107 (1962)

KRAUSE, W.: (G) Soils and plant Communities. In: Encyclopedia of Plant Physiology. W. Ruhland ed. Springer-Verlag, Berlin, Vo!. 4,807-850 (1958)

KRAUSKOPF, K. B.: Geochemistry of Micronutrients. In: Micronutrients in Agriculture, p. 7 - 40. Soil Sci. Soc. of America, Madison/USA 1972

KRALJSS, A.: Influence of nitrogen nutrition on tuber initiation of potatoes. In: Physiological Aspects of Crop Productivity, p. 175-184 Int. Potash Inst., Bern 1980

KRAUSS, A. and MARSCHNER, H.: (G) Influence of the nitrogen nutrition of potatoes on tuber induction and tuber growth rate. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 128, 153-168 (1971)

KRAUSS, A. and MARSCHNER, H.: (G) Influence of nitrogen nutrition and application of growth regulators on tuber initiation in potato plants. Z. Pflanzenern. Bodenk. Heft 2, 143-155 (1976)

KRENZER, E. G., Moss, D. N. and CROOKSTON, R. K.: Carbon dioxide compensation points of flowering plants. Plant Physiol. 56, 194-206 (1975)

KRUGER, W.: The influence of fertilizers on fungal disease of maize. In: Fertilizer Use and Plant Health, p. 145-156. Int. Potash Inst., Bern 1976

KUBOTA, J. and ALLAWAY, W.H.: Geographic distribution of trace element problems, p. 525-554. In: Micronutrients in Agriculture, ed. by J.J. Mortvedt, P. M. Giordano and W.L.Lindsay. Soil Sci. Soc. America, Madison/USA 1972

KUHN, H.: (G) Possibilities for the enrichment of vegetables with

micronutrients by fertilizer application. Landw. Forsch., 16. Sonderh., l12-120 (1962)

KUHN, H., HOFNER, W. and LiNSER, H.: (G) Lncreased shortening of cereal plants by combined application of growth regulators (CCC, Ethephon, Ancymidol. Landw. Forsch. Sonderh. 35, 271-276 (1978)

KUHN, H. and SCHAUMLOFFEL, E.: (G) The effect of high copper application on the growth of cereals. Landw. Forsch. 14, 82-98 (1961)

KUHN, H., SCHUSTER, W. and LINSER, H.: (G) Marked reduction in culm length of winter rye by combined application of CCC and ethephon under field conditions. Z. Acker- und Pflanzenbau 145, 22-30 (1977)

KURTEN, P. W.: (G) Fertilizer application for the production of wheat with high baking quality, p. 32-49. In: Qualitiit im Getreidebau, Landw. Schriftenreihe Boden und Pflanzc der Ruhr-Stickstoff AG, Bochum Nr. 11, 1964

KUNTZE, H. and BARTELS, R.: (G) Nutrient status and yield production on peat grassland. Landw. Forsch. Sonderh. 31/I, 208-219 (1975)

KURSANOV, A. L. and VYSKREBENTZEV A, E.: (F) The role of potassium in plant metabolism and the biosynthesis of compounds important for the quality of agricultural products. In: Potassium and the Quality of Agricultural Products. Proc., p.401 - 420. 8th Congr. Intern. Potash Institute, Berne 1966

KURSANOV, A.L.: Transport of assimilates and sugar storage in sugar beet. Z. Zuckerind. 24. 478-487 (1974)

KURVITS, A. and KIRKBY, E.A.: The uptake of nutrients by sunflower plants (He/ianlh/llannaas) growing in a continuous flowing culture system supplied with nitrate or anlmonium as nitrogen source Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 143, 140-149 (1980)

KYLIN, A.: The uptake and metabolism of sulfate by de seeded wheat plants.

Physiol. Plant 6, 775-795 (1953)
KYLIN, A. and QUATRANO, R. S.: MetaboLic and biochemical aspects on salt tolerance. In: A. POLJAKOFF-MAYBER and J.GALE: EcologicaL Studies 15, p. 147-167. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1975
LABANAUSKAS, C. K.: Manganese, p. 264-285. In: H. D. CHAPMAN: Diagnostic criteria for plant and soils. University of California 1966
LACHANCE, R. O. and OUELLETTE, G. J.: Patho]ogieal histology of boron-deficient alfalfa stems and leaves as an aid in diagnosing alfalfa yellows. Canad. J. Agr. Sci. 34, 488 - 493 (1954)
LACHOVER, D. and ARNON, L.: (F) Observations on the relationship between heavy potassium deficiency and poor quality of several agricuLtural products of major crops. 1 n: Potassium and the Quality of Agricultural Products, p. 439-464. Proc. 8th Congr. Int. Potash Inst., Bern 1966
LAETSCH, W. M.: The C-4 syndrome: A structural analysis. Ann. Rev. Plant Physiol. 25, 27-52 (1974)
LAUCHLl, A.: Translocation of inorganic solutes. Ann. Rev. Plant Physiol. 23, 197-218 (1972)
LAUCHLl, A.: Function of the root in relation to the structural aspects and localization of ions. XII. Intern. Botanical Congr. Leningrad 1975
LAUCHLI, A., KRAMER, D., PITMAN, M. G. and LUTTGE, U.: Ultrastructure of xylem parenchyma cells of barley roots in relation to ion transport to the xylem. Plant a 119, 85-99 (1974)
LAUCHLl, A. and PFLUGER, R.: Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. In: Potassium Research - Review and Trends. p. 111-163. Potash I nst., Bern 1978
LAUCHLI, A., SPURR, A. R. and EpSTEIN, E.: Lateral movement of ions into

the xylem of corn roots. II. Evaluation of a stelar pump. Plant Physiol. 48, 118 - 124 (1971)

LAG, J.: Relationships between the chemical composition of the precipitation and the contents of exchangeable ions in the humus layer of natural soils. Acta Agric. Scand. 18, 148-152 (1968)

LAGERWERFF, J. V.: Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants, p. 593-636. In: Micronutrients in Agriculture, ed. by J.J. Mortvedt, P. M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. America, Madison/USA 1972

LAGERWERFF, J. V. and BOLT, G. H.: Theoretical and experimental analysis of Gapon's equation for ion exchange. Soil Sci. 87, 217-222 (1959)

LAGERWERFF, J. V. and EAGLE, H.E.: Osmotic and specific effects of excess salts on bcans. Plant Physio!. 36, 472-477 (1961)

LAMBERT, R. G. and LINCK, A. J.: Comparison of the uptake of P-32 and K-42 intact alfalfa and oat roots. Plant Physio!. 39, 920-924 (1964)

LANGSTON, R.: Studies on marginal movement of cobalt-60 in cabbage. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 68, 366-369 (1956)

LARCHER, W.: (G) The efficiency of CO2 assimilation of higher plants under laboratory conditions and field conditions. Festschrift f. Prof. Dr. O. Stocker, StolzenjWeser 1963

LARKUM, A. W. D.: Ionic relations of chloroplasts in vivo. Nature 218, 447-449 (1968)

LARSEN, S.: The use of 32p in studies on the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 4, 1-10 (1952)

LARSEN, S.: Isoionic exchange of phosphate in paddy soils. Plant and Soil 27,401-407 (1967a)

LARSEN, S.: Soil phosphorus. Adv. in Agron. 19, 131-206 (1967)

LARSEN, S. and COOKE, J. J.: The influence of radioacti ve phosphate levels

on the absorption of phosphate by plants and on the determination of labile soil phosphate. Plant and Soil 14, 43 - 48 (1961)

LARSEN, S. and SUTTON, C. D.: The influence of soiL volume on the absorption of soil phosphorus by plants and on the determination of labile soil phosphorus. Plant and Soil 18, 77-84 (1963)

LARSEN, S. and WIDDOWSON, A. E.: Chemical composition of soil solution. J. Sci. Fd Agric.19, 693-695 (1968)

LATIIWEI.L, D.J. and PEECH, M.: Interpretation of chemical soil tests. Cornell Univ. Agric. Exp. Stat., Ncw York State College of Agriculture, Ithaca, New York, Bulletin 995, October 1964

LATIMORE, M., GIDDENS, J. and ASIII.EY, D.A.: EfTect of ammonium and nitrate nitrogen upon photosyn. supply and nitrogcnllxation by soybeans. Crop Sci. 17,399 - 404 (1977)

LAVES, D.: (G) Potassium transformation in soil. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 22 (8),521-528 (1978)

LAVY, T.L. and BARBER, S.A.: Movement of molybdenum in the soil and its effect on availability to the plant. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28, 93-97 (1964)

LAWRENCE, T., WARDER, F. G. and ASHFORD, R.: Nitrate accumulation in intermediate wheatgrass. Canad. J. Plant Sci. 48, 85-88 (1968)

LAZAROFF, N. and PITMAN, M.G.: Calcium and magnesium uptake by barley seedlings. Aust. J. bio!. Sci. 19, 991-1005 (1966)

LEA, P.J. and MIFLIN, B. J.: Alternative route for nitrogen assimilation in higher plants. Nature 251, 614-616 (1974)

LEACH, G.: Energy and Food Production. IPC Science and Techno]ogy Press, Guildford 1976

LEE, C., MILLER, G. W. and WELKIE, G. W.: The effects of hydrogen fluoride and wounding on respiratory enzymes in soybean leaves. Air

Water Pollut. fnt. J. 1O, 169-181 (1965)

LEE, S. G. and ARNOFF, S.: Boron in p]ants: A biochemical role. Science 158, 798-799 (1967)

LEGGETT, J.E. and EpSTEIN, E.: Kinetics of sulfate absorption by barley roots. Plant Physio!. 31, 222-226 (1956)

LEGGETT, J.E. and GILBERT, W.A.: Magnesium uptake by soybeans. Plant Physiol. 44, 1182-1186 (1969)

LEHNINGER, A.L.: Biochemistry, the Molecular Basis of Cell Structure and Function. Worth Publishers, Inc., New York 1975

LEHR, J.J. and VAN WESEMAEL, J.G.: (N) Volatilization of ammonia on calcareous soils. Landbouwk. Tijdschr. 73, 1156-1168 (1961)

LEMON, E. and HOUTTE, R. VAN: Ammonia exchange at the land surface. Agron. J. 72, 876 - 883 (1980)

LENDZIAN, K. and BASSHAM, J.A.: NADPH/NADH ratios in photosynthesizing reconstituted chloroplasts. Biochim. Biophys. Acta 430,478 - 489 (1976)

LENKA, D. and DASTANE, N.G.: Water management practises for rice. Ann. Rep. Chakuli Centre, Irri. Res. Scheme, Major River Valley Project Areas. ICAR, New Delhi 1970

LEONARD, R. T. and HODGES, T. K.: Characterization of plasma membrane-associated adenosine triphosphatase activity of oat roots. Plant Physiol. 52, 6-12 (1973)

LESSANI, H. and MARSCHNER, H.: Relation between salt tolerance and long distance transport of sodium and chloride in various crop species. Aust. J. Plant Physiol. 5, 27-37 (1978)

LETEY, J., STOLZY, L.H., BLANK, G.B. and LUNT, O.R.: Effect of temperature on oxygendiffusion rates and subsequent shoot growth, root growth and mineral content of two plan I species. Soil Sci. 92, 314-321

(1961)

LEWIN, J.C.: Physiological studies of the boron requirement of the diatom Cylindroth fusiformis. J. Exp. Bot. 17,473-479 (1966)

LEWIN, J. and REIMANN, B.E.F.: Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 20. 289 - 304 (1969)

LEWIS, D.A. and TATCHELL, J.A.: Energy in UK agriculture. J. Sci. Food Agric. 30, 449 - 457 (1979)

LEWIS, D.G. and QUIRK, J. P.: Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. III. P^{31} movement and uptake by plants as indicated by p32-autoradiography. Plant and Soil 26. 445 - 453 (1967)

LEWIS, D.G. and QUIRK, J.P.: Phosphate diffusion in soil and uptake by plants. IV. Compund uptake by model roots as a result of diffusive flow. Plant and Soil 26, 454-468 (1967)

LEWIS, J. C. and POWERS, W.L.: Antagonistic action of chlorides on the toxicity of iodidcs I corn. Plant Physiol. 16, 393-398 (1941)

LIEBIG, J.: (G) The Organic Chemistry and its Application on Agriculture and Physiology. p. 167 Verlag Viehweg, Braunschweig 1841

LIN, W. and HANSON, J.B.: Cell potentials, cell resistance, and proton Iluxes in corn tissues. Plant Physiol. 58, 276-282 (1976)

LINDSAY, W.L.: Zinc in soils and plant nutrition. Adv. in Agron. 24,147-186 (1972)

LINDSAY, W.L.: Inorganic phase equilibria of micro nutrients in soils, p. 41-57. In: Micronutrients in Agriculture, Soil Sci. Soc. America, fnc., Madison/USA 1972

LINDSAY, W. L.: Role of chelation in micronutrient availability. fn: E. W. CARSON: The Plant Root and Its Environment, p. 507-524. University Press of Virginia 1974

LINDSAY, W.L., HODGSON, J.F. and NORVELL, W.A.: The

physicochemical equilibrium of metal chelates in soils and their influence on the availability of metal cations. Trans. Comm. II and IV. Int. Soc. Soil Sci. (Aberdeen 1966), p. 305-316 (1967)

LINDSTROM, E. S., NEWTON, J. W. and WILSON, P. W.: The relationship between photosynthesis and nitrogen fixation. Proc. Nat. Acad. Sci. US 38,392-396 (1952)

LINGLE, J. e., TIFFIN, L. O. and BROWN, J. e.: Iron-uptake transport of soybeans as influcnccd by other cations. Plant Physiol. 38, 71-76 (1963)

LINSER, H. and HERWIG, K.: (G) Investigations into the relationship between nutrient uptakc and the osmotic pressure of the outer solution. Protoplasma LVII, 588-600 (1963)

LINSER, H. and HERWIG, K.: (G) Relationships between wind, transpiration and nutrient translocation in flax with particular rcgard to a varied water and potash application. KaliBriefe, Fachgeb. 2, 2. Folge (1968)

LINSER, H. and KUHN, H.: (G) Levels and timing of chlorocholine chloride application 10 spring wheat, in order to shorten the length of the culm. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 101, 206-210 (1963)

LINSER, H., KUHN, H. and SCHLOGL, G.: (G) A field technique for distinguishing between sulphur and nitrogen deficiency. p. 90-103 V. Simposio fnternazionale di Agrochimica su 'Lo zalfo in agricoltura', Palermo 1964

LINSER, H., MAYR, H. and BODO, G.: (G) Effect of chlorocholine chloride on spring wheat. Bodenkultur 12, 279-280 (1961)

LISK, D.J.: Trace metals in soils, plants & animals. Adv. in Agron. 24,261-325 (1972)

LOCASCIO, S. J., WARREN, G.F. and WILCOX, G.E.: The effect of phosphorus placement on uptake of phosphorus and growth of direct seeded tomatoes. Amer. Soc. Hort. Sci. 76, 503-514 (1960)

LOCHER, J. T. and BROUWER, R.: Preliminary data on the transport of water, potassium an dnitrate in intact and bleeding maize plants. Mededeling 238 van het LB.S. (Wageningen), p. 41-49 (1964)

LODlSH, H.F. and ROTHMAN, J.E.: The assembly of cell membranes Sci. American 240: 38-53 (1979)

LOHNIS, M. P.: Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. Plant and Soil12, 339-376 (1960)

LONERAGAN, J. F.: The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentrations of trace elements in plants. 1 n D. J. D. Nicholas and A. R.Egan: Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, p. 109-134. Academic Press London 1975

LONERAGAN, J. F. and ASHER, e. J.: Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. Soil Sci. 103, 311-318 (1967)

LONERAGAN, J. F., GLADSTONES, J. S. and SIMMONS, W.J.: Mineral elements in temperate crop and pasture plants. II. Calcium. Aust. J. agric. Res. 19,353-364 (1968)

LONERAGAN, J. F. and SNOWBALL, K.: Calcium requiremcnts of plants. Aust. J. agric. Res. 20, 465-478 (1969)

LOUGHEED, E.C. M URR. D.P. and MILLER, S.R.: Effects or calcium and daminozidc on ethylene production and sortcning of apple fruits Expericntia 35, 43-45 (1979)

LOOMIS, R. S., WILI.IAMS, W. A. and I-fALL, A. 10.: Agricultural productivity. Ann. Rev. Plant Physiol. 22, 431-463 (1971)

LORENZ, H.: Nitrate ammonium and amino acids in bleeding sap of tomato plants in relution to Ihe form and concentration ornitrogen in the medium. I'llInt and Soil 45, 169-176 (1976)

LOUE, A.: (F) Investigations into the potash nutrition and fertilization of grapes. Experimentation et etudes agronomiques (1968).Societe CommerciaIe des Pot asses d' Alsace, Services Agronomiques

LOUE, A.: (F) Plant analysis for the estimation of nutrient requirement, especially the potash requirement of potatoes. In: Le cont6rle de I'alimentation des plantes cultivees (PAL KOZMA, ed.) p. 265-282. Akademiai Kiado, Budapest 1975

LouE, A.: (F) Average effect of potassium fertilization to arable crops in long term field trials. Potash Review (Berne) Subj. 16, Suite 79th No.4 (1979)

Low, AJ. and ARMITAGE, E.R.: The composition of the leachate through cropped and uncropped soils in lysimeters compared with that of the rain. Plant and Soil 33, 393 - 411(1970)

LOWTHER, W.L. and LONERAGAN, J.F.: Calcium and nodulation in subterranean clover Trifolium subterraneum L. Plant PhysioI. 43,1362-1366 (1968)

LUCAS, R.E. and DAVIS, J.F.: Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Sci. 92, 177-182 (1961)

LUCAS, R. E. and KNEZEK, B. D.: Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: Micronutrients in Agriculture, p. 265-288 (1972)

LUTTGE, U., CRAM, WJ. and LATJES, G.G.: The relationship of salt stimu1ated respiration to localized ion transport in carrot tissue. Z. PflanzenphysioI. 64, 418-426 (1971)

LUTTGE, U., KLUGE, M. and BALL, E.: Effects of osmotic gradients on vacuolar malic acid storage. Plant PhysioI. 56, 613 - 616 (1975)

LUNDEGARDH, H.: (G) The nutrient uptake of plants. Verlag G.Fischer, Jena

1932

LUNDEGARDH, H.: (G) Leaf analysis. Verlag G. Fischer, Jena 1945

MAAS, E. V.: Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. Plant Physiol. 44, 985-989 (1969)

MAAS, E. V. and LEGGETT, J. E.: Uptake of s6Rb and K by excised maize roots. Plant PhysioI. 43, 2054-2056 (1968)

MAAS, E. V., MOORE, D. P. and MASON, B.J.: Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. Plant PhysioI. 44, 796-800 (1969)

MACDoNALD, l.R., MACKLON, A.E.S. and MACLEOD, R.W.G.: Energy supply and lightenhanced chloride uptake in wheat laminae. Plant Physiol. 56, 699-702 (1975)

MACHOLD, O.: (G) Investigations on metabolically defective tomato mutants. in Effect of ammonium and nitrate nitrogen on the ch]orophyll content. Flora, Abt. A 157, 536-551 (1967)

MACHOLD, O.: (G) Effect of nutritional conditions on the status of iron in leaves, on the chlorophyll content, and on the activity of catalase and peroxidase. Flora, Ab. A. 159, 1-25 (1968)

MACHOLD, O. and SCHOLZ, G.: (G) Iron status and chlorophyll synthesis in higher plants. Naturwiss. 56, 447-452 (1969)

MACHOLD, O. and STEPHAN, U. W.: The function of iron in porphyrin and chlorophyll biosynthesis. Phytochemistry 8, 2189-2192 (1969)

MACKLON, A.E.S. and DEKOCK, P.C.: Physiological gradients in the potato tuber. Physiol. Plant. 20, 421-429 (1967)

MACLEOD, L.B.: Effects of N, P, and K and their interactions on the yield and kernel weight of barley in hydroponic culture. Agron. J. 61, 26-29 (1969)

MACLEOD, L. B. and JACKSON, L. P.: Effect of concentration of the Al ion

on root development and establishment of legume seedlings. Can. J. Soil Sci. 45, 221-234 (1965)

MAERTENS, M .C.: (F) Experimental investigation into the nutrition of maize with minerals and water. Comparison between the requirement of the plant and the uptake potential of the roots for nitrogen, phosphorus, and potassium. C.R. Acad. Sc. (Paris) 273, Scric D, 682-684 (1971)

MAGISTAD, O. C., REITEMEIER, R. F. and WILCOX, L. V.: Determination of soluble salts in soils. Soil Sci. 59, 65-75 (1945)

MAHAPATRA, J.C., PRASAD, R. and LEELAVATHI, C. R.: Proc. FAJ Symposium on use of NPK Complex Fertilizers based on nitrophosphate process. Fertilizer Ass. of India, New Delhi (1973)

MAIZEL, J. V., BENSON, A.A. and TOLBERT, N.E.: Identification of phosphoryl choline as an important constituent of plant saps. Plant Physiol. 31, 407-408 (1956)

MAJOR, D. J. and CHARNETSKI, W. A.: Distribution of C-14 labelled assimilates in rape plants. Crop Sci. 16, 530-532 (1976)

MAKMUR, A., GERLOFF, G.G. and GABELMAN, W.H.: Physiology and inheritance of efficiency in potassium utilization in tomatoes grown under potassium stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 (4), 545-549 (1978)

MALAVOLTA, E., DANTAS, J.P., MORIAS, R.S. and NOGUEIRA, F.D.: Calcium problems in Latin America. Comm. in Soil Sci. and Plant Anal. 10, 29-40 (1979)

MALEK, F. and BAKER, D.A.: Proton co-transport of sugars in phloem loading. Planta 135, 297-299 (1977)

MALLISSIOVAS, N.: (G) iron chlorosis of vine - causal relationships between inducing factors and processes. Diss. Fachbereich 19 Ernahrungswissenschaften, Justus Liebig-University
Giessen 1980

MALONE, C., KOEPPE, D. E. and MILLER, R. J.: Localization of lead accumulated in corn plants. Plant Physiol. 53, 388-394 (1974)

MALOTH, S. and PRASAD, R.: Relative efficiency of rock phosphate and superphosphate for cowpea (Vigna sinensis Savi) fodder. Plant and Soil 45, 295-300 (1976)

MALQUORI, A., RISTORI, G. and VIDRRICH, V.: Biological weathering of potassium silicates: I. Biotite. Agrochimica 19, 522-529 (1975)

MANDAL, S. c.: Phosphorus management of our soils. Need for a more rational approach. 40th Sess. Indian Soc. of Soil Science, Bhubaneswar 1975

MARC, J. and PALMER, J.H.: Relationship between water potential and leaf inflorcsccncc initiation in Helianthus annuus. Physiol. Plant. 36, 101-104 (1976)

MARCELLE, R. and BODSON, M.: Greenback disease and mineral content of tomato fruit. Journal of Plant Nutrition 1, 207-217 (1979)

MARINOS, N. c.: Studies on submicroscopic aspects of mineral deficiencies. l. Calcium dcficiency in the shoot apex of barley. Am. J. Bot. 49, 834-849 (1962)

MARQUARD, R., KUHN, H. and LINSER, H.: (G) The effect of the sulphur nutrition on the synthesis of mustard oils. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 121, 221-230 (1968)

MARSCHNER, H.: Why can sodium replace potassium in plants? In: Potassium in Biochemistry and Physiology, p. 50-63. Proc. 8th Collow. Tnt. Potash., Bern 1971

MARSCHNER, H.: (G) Effect of O_2 supply to roots on mineral uptake and plant growth. In: Pseudogley & Gley, Trans. Comm. V and VT of the Int. Soc. Soil Sci., 541-555 (1972)

MARSCHNER, H.: Mechanisms of regulation of mineral nutrition in higher

plants, p. 99-109. In: Mechanisms of Regulation of Plant Growth, ed. R.L.Bieleski. A. R. Ferguson and M.M.Cresswell. BulIetin 12, The Royal Society of New Zealand 1974

MARSCHNER, H.: Calcium nutrition of higher plants. Neth. J. agric. Sci. 22, 275-282 (1974)

MARSCHNER, H.: (G) Nutritional and yield physiological aspects of plant nutrition. Angcw. Botanik 52, 71-87 (1978)

MARSCHNER, H.: General Introduction to the Mineral Nutrition of Plants. In LXUCIIU, A. and BIELESKI, R.L., eds., Encyclopedia of Plant Physiology, Ncw Scries Vol. 12, Inorganic Plant Nutrition. Springer-Verlag 1982 (in press)

M ARSCIINER, H., HANDLEY, R. and OVERSTREET, R.: PotassiuIll loss and changes in the finc structure of corn root tips induced by H-ion. Plant Pilysiol. 41, 1725-1735 (1966)

MARSCHNER, H., KAUSCH- K. and ROM HELD, V.: Mechanism of iron uptakc in dinercnt plant species. In: Proc. 7th Int. Colloq. Plant Analysis and Fcrtilizcr Problcms, p.273-2HI. Hannover 1974

MARSCHNER, H. and MENGEL, K.: (G) The effect of Ca and H ions at different metabolic conditions on the membrane permeability of young barley roots. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 112, 39-49 (1966)

MARSCHNER, H. and OSSENBERG-NEUHAUS, H.: (G) Effect of 2, 3, 5 tri iodobenzoic acid (TlBA) on calcium transport and cation exchange capacity in sun flowers. Z. Pflanzenphysiologie 85, 29-44 (1977)

MARSCHNER, H. and POSSINGHAM, J. V.: Effect of K' and Na + on growth of leaf discs of sugar beet and spinach. Z. Pflanzenphysiol. 75,6-16 (1975)

MARSCHNER, H. and RICHTER, CH.: (G) Calcium translocation in roots of maize and bean seedlings. Plant and Soil 4O, 193-210 (1974)

MARSCHNER, H. and SCHROPP, A.: (G) Comparative studies on the sensitivity of six rootstock varieties of grapevine to phosphate-induced Zn deficiency. Vitis 16, 79-88 (1977)

MARSH, H. V., EVANS, H. J. and MATRONE, G.: Investigations on the role of iron in chloro phyll metabolism. II. Effect of iron deficiency on chlorophyll synthesis. Plant Physiol. 38, 638-642 (1963)

MARTlN, J. P.: Bromine, p.62-64. In: H.D.CHAPMAN: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences 1966

MARTIN, P.: Pathway of translocation of 15N from labelled nitrate or ammonium in kidney bean plants. In; E.A.KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant, p. 104 - 112. The Univ. of Leeds, 1970

MARTIN, W. E. and MATOCHA, J. E.: Plant analysis as an aid in the fertilization of forage crops, p. 393-426. In: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Soc. Amer. Inc., Madison, USA 1973

MASCARENHAS, J. P. and MACHLlS, L.: Chemotropic response of the pollen of Antirrhinum majus to calcium. Plant Physiol. 39, 70-77 (1964)

MASSUMI, A.: (G) Investigations into the molybdenum status of plants and soils in Schleswig Holstein. Diss. d. Landw. Fakultiit d. Univ. Kiel 1967

MATHUR, B.N., AGRAWAL, N. K. and SINGH, V. S.: Effect of soil versus f oliar application of urea on the yield of American cotton variety '320'. Indian J. agric. Sci. 38, 811-815 (1968)

MATSUBAYASHI, M., ITO, R., NOMOTO, T., TAKASE, T. and YAMADA, N.: Some properties of paddy field soils. In: Theory and practice of fertilizer application, p. 183-227 (1963)

MAYNARD, D.N.: Nutritional disorders of vegetable crops: A review. Journal of Plant Nutrition 1, 1-23 (1979)

MAYNARD, D.N. and BARKER, A. V.: Studies in the tolerance of plants to ammonium nutrition. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94, 235-239 (1969)

MAYNARD, D. N. and BARKER, A. V.: Nitrate content of vegetable crops. Hortscience 7, 224-226 (1972)

MAYNARD, D.N., BARKER, A.V., MINOTTI, P.L. and PECK, N.H.: Nitrate accumulation in vegetables. Adv. Agron. 28, 71-118 (1976)

McAuLIFFE, C.F., HALL, N.S., DEAN, L.A. and HENDRICKS, S.B.: Exchange reactions between phosphates and soils. Hydroxylic surfaces of soil minerals. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12, 119-123 (1947)

MCCORD, J. M., KEELE, B. B. and FRIDOVICH, 1.: An enzyme based theory of obligate anaerobiosis: The physiological function of superoxide dismutase. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 68, 1024-1027 (1971)

McKENZIE, R.M.: Soil cobalt,p. 83-93. In: D.J. D. NICHOLAS and A. R. EGAN: Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. Academic Press London 1975

McLACHLAN, K. D. and DE MARCO, D. G.: The influence of gypsum particle size on pasture response on a sulphur deficient soil. Aust. J. expo Agric. Anim. Husbandry 8, 203-209 (1968)

McLAREN, R.G. and CRAWFORD, D. V.: Studies on soil copper I. The fractionation of Cu in soils. J. Soil Sci. 24, 172-181 (1973)

MCLEAN, E. O., ADAMS, D. and FRANKLIN, R.E.: Cation exchangc capacities of plant roots as related to their nitrogen contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20, 345-347 (1956)

McMICHAEL, B.L., JORDAN, W. R. and POWELL, R. D.: An effect of water stress of ethylene production by intact cotton petioles. Plant Physiol. 49, 658-660 (1972)

McNEAL, F. H., WATSON, C. A. and KITTAMS, H. A.: Effects of dates and rates of nitrogen fertilisation on the quality and field performance of five hard red spring wheat varieties. Agron. J. 55, 470-472 (1963)

MEIRI, A., KAMBUROFF, J. and POLJAKOFF-MAYBER, A.: Response of

bean plants to sodium chloride and sodium sulphate salinization. Ann. Bot. 35, 837-847 (1971)

MEIRI, A. and POLJAKOFF-MAYBER, A.: Effect of variations in substrate salinity on the water balance and ionic composition of bean leaves. Israel J. Bot. 18, 99-112 (1969)

MEIRI, A. and SHALHEVET, J.: Crop growth under saline conditions. Ecological Studies Vol. 5, p. 277-290. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1973

MENGEL, D. B. and BARBER, S.A.: Rate of nutrient uptake per unit of corn root under lield conditions. Agron. J. 66, 399-402 (1974)

MENGEL, K.: (G) The Donnan distribution of cations in the free space of plant roots and its significance for the active cation uptake. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 95, 240-259 (1961)

MENGEL, K.: Effect of potassium on assimilate conduction to storage tissue. Ber. Deutsch. Bot. Gcs. 93, 353-362 (1980)

MENGEL, K. and VON BRAUNSCHWEIG, L. c.: The effect of soil moisture upon the availability of potassium and its influence on the growth of young maize plants (Zea mays L.). Soil Sci. 134, 142-148 (1972)

MENGEL, K. and BUSCH, R.: The importance of the potassium buffer power on the critical potassium level in soi!. Soil Sci. in press (1982)

MENGEL, K. and CASPER, H.: The effect of soil moisture on the availability of soil nitrate. Pflanzenerniihr. Bodenkd. 143, 617-626 (1980)

MENGEL, K., GRIMME, H. and NEMETH, K.: (G) Potential and actual availability of plant nutrients in soils. Landw. Forsch. 23/I. Sonderh., 79-91 (1969)

MENGEL, K. and HAEDER, H.E.: The effect of the nitrogen nutritional status of intact barley plants on the retention of potassium. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 128, 105-115 (1971)

MENGEL, K. and HAEDER, H. E.: (G) Photosynthesis and translocation of photosynthates during grain filling in wheat supplied with different K levels. Z. Acker- U. Pflanzenbau 14O, 206-213 (1974)

MENGEL, K. and HAEDER, H.E.: The effect of potassium and light intensity on the grain yield production of spring wheat. 4th Int. Colloq. on the Control of Plant Nutrition, p. 463-475 (1976)

MENGEL, K. and HAEDER, H. E.: Effect of potassium supply on the rate of phloem sap exudation and the composition of phloem sap of Ricinus communis. Plant Physiol. 59, 282-284 (1977)

MENGEL, K., HAGHPARAST, M.R. and KOCH, K.: The effect of potassium on the fixation of molecular nitrogen by root nodules of Vicia faba. Plant Physio!. 54, 535-538 (1974)

MENGEL, K. and HELAL, M.: (G) The effect of the exchangeable CaH of young barley roots on the flux of K^+ and phosphate- an interpretation of the Viets effect. Z. Pflanzenphysi Ol. 57, 223-234 (1967)

MENGEL, K. and HELAL, M.: The effect of increasing nitrogen supply on the composition of the soluble amino fraction and yield of spring wheat. In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the Plant, p. 162-173. The University of Leeds 1970

MENGEL, K and MALLISSIOVAS, N.: (G) Bicarbonate as inducing factor of" iron chloro,is in vine (Vitis /ikra). Vitis, 20, 235-243 (1981)

MENGEL, K. and PI LUCiER, R.: (G) Thc influence of" several salts and several inhibitors on the root pressure of *Zea mays*. Physiol. Plant. 22, 840-849 (1969)

MENGEL, K. and TRLIJGER, R.: The release of potassium and sodium from young excised roots of Zea mays under various efflux conditions. Plant Physiol. 49, 16-19 (1972)

MENGEl., K. and SCIlERER, I-I.W.: Release of nail exchangeable (flxed) soil

N H, I under fleld conditions during the growing scason. Soil Sci., 131,226-232, 1981

MENGEL, K., SCHERER, H.W. and MALISSIOVAS, N.: (G) Chlorosis from the aspect of soil chemistry and vine nutrition. Mitt. Klosterneuburg 29, 151-156 (1979)

MENGEL, K., SEc;ER, M. and KOCH, K.: Potassium on protein formation and amino acid turnover in developing wheat grain. Agron. J. 73, 74-78 (1981)

MENGEL, K. and VIRO, M.: Effect of potassium supply on the transport of photosynthates to the fruits of tomatoes (Lycopersicon esculentum). Physiol. Plant 30, 295-300 (1974)

MENGEL, K. and VIRO, M.: The significance of plant energy status for the uptake and in corporation of NH,-nitrogen by young rice plants. Soil Sci. Plant NutI'. 24, (3) 407-416 (I 978)

MENGEL, K., VIRO, M. and HEHL, G.: Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium-nitrogen of rice plants. Plant and Soil 44, 547-558 (1976)

MENGEL, K. and WIECHENS, B.: (G) Importance of the non exchangeable soil K fraction on the yield production of rye-grass. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 142, 836-847 (1979)

MENZEL, R. G. and HEALD, W. R.: Distribution of potassium, rubidium, cesium, calcium and strontium within plants grown in nutrient solutions. Soil Sci. 80, 287-293 (1955)

MERCER, E.R. and RICHMOND, J.L.: Fate of nutrients in soil: Copper, p.9. In: Letcombe Laboratory Annual Report (1970)

MERTZ, E. T., BATES, L. S. and NELSON, O. E.: Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science 145, 279-280 (1964)

MEYER, B. S.: A critical evaluation of the terminology of diffusion phenomena. Plant Physiol. 20,142-164 (1945)

MICHAEL, G.: (G) Phosphate fractions in oat grains and spinach related to a varied application of phosphorus. Bodenk. u. PfJanzenerniihr. 14, 148-171 (1939)

MICHAEL, G.: (G) Uptake and distribution of magnesium and its role in higher green plants. Bodenk. u. Pflanzenerniihr. 25, 65-120 (1941)

MICHAEL, G.: (G) The selection potential of plants in mineral uptake. Dt. Akad. d. Landw. Wiss. VIII, Heft 4, Berlin 1959

MICHAEL, G. and BERINGER, H.: The role of hormones in yield formation. In: Physiological Aspects of Crop Productivity. p. 85-/16, 15th Colloq. Int. Potash Inst., Bern 1980

MICHAEL, G. and BLUME, B.: (G) The influence of a nitrogen application on the protein composition of barley grains. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 88, 237-250 (1960)

MICHAEL, G. and MARSCHNER, H.: (G) Phosphate exchange at root surfaces. Z. Bot. 46, 37-52 (1958)

MICHAEL, G. and MARSCHNER, H.: (G) Influence of varied air humidity and transpiration on mineral uptake and distribution. Z. Pflanzenerniihr. DUNG. Bodenk. 96, 200 - 212 (1962)

MICHAEL, G., MARTIN, P. and OWASSIA,.: The uptake of ammonium and nitrate from labelled ammonium nitrate in relation to the carbohydrate supply of the roots. In: E. A. KIRKBY: Nitrogen Nutrition of the PJant, Univ. of Leeds, p. 22-29 (1970)

MICHAEL, G., SCHUMACHER, H. and MARSCHNER, H.: (G) Uptake of ammonium and nitrate nitrogen from labelled ammonium nitrate and their distribution in the plant. Z. Pflanzenerniihr. DUng. Bodenk. 110, 225-238 (1965)

MICHAEL, G., WILBERG, E. and KOUHSIAHI- TORK, K.: (G) Boron deficiency induced by high air humidity. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 122, 1-3 (1969)

MIFLlN, B.J.: Potential for improvement of quantity and quality of plant proteins through scientific research. In: FertiJizer Use and Protein Production, p. 4l-62. 1 ntern. Potash Inst., Berne 1975

MIFLlN, B.J. and LEA, PJ.: Amino acid metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 28, 299-329 (1977)

MILl.ER, F.P.: Fertilizers and our enviromnt p. 23 - 46 In: The Fertilizer Handhook. The Fertilizer Institute, Wahshington 1972

MILLER, G.W.: Carbon dioxide.bicarbonatc absorption, accumulaition, effects on vllrious plant metabolic relict ions, and possibh: n:llltiolis to lime induced chlorosis, Soil Sci. 89, 241-245 (1960)

MILLER, J. E. and MILLER, G. W.: Elreets of fluoride on mitochondrial activity ill hil.d1Cr plllnts. Physiol Plant. 32,115-121 (1974)

MIl.LER, K.R.: Die photosynthetisierende Membran. Spektrum d. Wisse. 12, 37 - 45 (1979)

MILLER, L. P. and FLEMION, F.: The role of minerals in phytochemistry. Phytochemistry Van Nostrand Reinhold Co., Vol. III, 12-19 (1973)

MILTHORPE, F.L. and MOORBY, J.: Vascular transport and its significance in plant growth. Ann. Rcv. Plant Physiol. 20, 117-138 (1969)

MINDERMAN, G. and LEEFLANG, K.W.F.: The amounts of drainage water and solutes from lysimeters planted with either oak, pine or natural dune vegctation, or without any vegetation cover. Plant and Soil 28, 61-80 (1968)

MINER, G.S., LILLY, J.P. and TERRY, D.L.: Nitrogen release characteristics or isohutylidenc diurea and its effectiveness as a source of N for flue-cured tobacco Agron..I. 70, 434-438 (1978)

MINISTRY OF AGRICULTURE FISHERIES AND FOOD. Technical Bulletin No. 209. Fertilizer Recommendations. H.M.S.O. (1973)

MINOTTI, P.L., WILLIAMS, D. CRAIG and JACKSON, W.A.: Nitrate uptake by whent as influenced by ammonium and other cations. Crop Sci. 9, 9-14 (1969)

MISHRA, D.and KAR, M.:Nickel in plant growth and metabolism. Bot. Rev.40, 395-452 (1974)

MITCHELL, G.A., BINGHAM, E.T. and PAGE, A.L.: Yield and metal composition of lettuce and wheat grown on soils amended by sewage sludge enriched with cadmium, copper, nickel, and zinc. J. Environ. Qual. 7, 165-171 (1978)

MITCHELL, H. H. and EDMAN, M.: FJuorine in soils, plants and animals. Soil Sci. 6O, II 1-90 (1945)

MITCHELL, H.H., HAMILTON, T.S. and BEADLES, J.R.: The relationship between the protein content of corn and the nutritional value of the protein. J. Nutr. 48, 461-476 (1952)

MITCHELL, P.: Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemiosmotic type of mechanism. Nature 191, 144-148 (1961)

MITCHELL, P.: Chemiosmotic coupling in oxidative and photosynthetic phosphorylation. BioI. Rev. 41, 445-502 (1966)

MITCHELL, P.: Promotive chemiosmotic mechanisms in oxidative and photosynthetic phosphorylation. Trends in Biochemical Sciences 3, N58-N61 (1978)

MITCHELL, R.L.: Trace elements in Scottish peats. Int. Peat Symp. Dublin 1954, Sect. 13 3 MITCHELL, R. L.: Trace elements in Soil, p. 320-368. In: F.E.BEAR: Chemistry of thc Soil, New York, Reinhold, 1964

MITCHELL, R.L.: Cobalt in soiJ and its uptake by plants. Agrochimica 16, 521-532 (1972)

MITSCH ERLICH, E. A.: (G) Soil Science for Farmers, Foresters and Gardeners. 6. cd. Max Niemeyer Verlag, Halle (1950)

MITSCHERLICH, E.A.: (G) Soil Science for Farmers, Foresters and Gardeners. Ahed., Verlag P. Parey, Berlin, Hamburg 1954

MITSCHERLICH, E. A. and BEUTELSPACHER, H.: (G) Investigations into the water consumption of some crops and the water economy of a natural soil profile. Bodenk. u. Pflanzcnerniihr. 9/10, 337-395 (1938)

MIZRAHI, Y., BLUMENFELD, A. and RICHMOND, A.E.: Abscisic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress. Plant Physiol. 46, 169-171 (1970)

MOGHIMI, A., TATE, M.E. and OADES, J.M.: Phosphate dissolution by rhizosphere products. IT Characterization of rhizosphere products especially rx ketog]uconic acid. Soil Biol. Biochem. 10, 283-286 (1978)

MOHR, H.D.: (G) Soil penetration by roots in relation to important soil characteristics. KaliBriefe (Buntehof) 14, (2) 1O3-113 (1978)

MOLLE, K. G. and JESSEN, T.: (D) Increasing amounts of nitrogen to spring cereals grown on low areas 1960-67. T. Planteavl 72,489-502 (1968)

MOORBY, J.: The influence of carbohydrate and mir.eral nutrient supply on the growth of potato tubers. Ann. Bot. 32, 57 - 68 (1968)

MORARD, P.: (F) Distribution of phosphorus, studied with the radioactive isotope and with colorimetry, in buckwheat (Fagopyrum esculenlum, var. La Harpe), grown in nutrient solution. C.R. Acad. Sci. Ser. D, 270, 2075-2077 (1970)

MORARD, P.: (F) Contribution to the study of the potassium nutrition of sorghum. Thesis, University Toulouse 1973

MORESHET, S., STANHILL, G. and FUCHS, M.: Effect of increasing foliage reflectance on the CO_2 uptake and transpiration resistance of a grain Sorghum crop. Agron. J. 69, (2) 246 - 250 (1977)

MORGAN, M.A., VOLK, R.J. and JACKSON, W.A.: Simultaneous influx and efflux of nitrate during uptake by perennial reygrass. Plant Physiol. 51, 267-272 (1973)

MORGAN, P. W., JOHAM, H.E. and AMIN, J. V.: Effect of manganese toxicity on the indoleacetic acid oxidase system in cotton. Plant Physiol. 41, 718-724 (1966)

MORIMURA, S., TAKAHASHI, E. and MATSUMOTO, H.: Association of aluminium with nuclei and inhibition of cell division in onion (Allium cepa) roots. Z. Pflanzenphysiologie 88, 395 - 401 (1978)

MORRE, D.J.: Membrane biogenesis. Ann. Rev. Plant Physiol. 26, 441-481 (1975)

MOORE, D. P.: Mechanism of micronutrient uptake by plants, p. 171-198. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison 1972

MOORE, D.P.: Physiological effects of pH on roots. In E.W.Carson. The Plant Root and Its Environment, p. 135-151. University Press Virginia, Charlottesville (1974)

MOTHES, K.: (G) Sulphur metabolism of plants. Plant a 29, 67-109 (1939)

MUELLER, P. and RUDIN, D.O.: Development of K^+-Na^+ discrimination in experimental bimolecular lipid membranes by macrocyclic antibiotics. Biochem. Biophys. Res. Commun. 26, 398-405 (1967)

MUNCH, E.: (G) Translocation of materials in plants. Fischer Verlag, Jena 1930

MULDER, D.: Mg - deficiency in fruit trees on sandy and clay soils in Holland. Plant and Soil 2, 145-157 (1950)

MULDER, E. G.: Importance of molybdenum in the nitrogen metabolism of microorganisms and higher plants. Plant and Soil 1, 94 - 119 (1948)

MULDER, E. G.: Effect of the mineral nutrition of potato plants on the biochemistry and thc physiology of the tubers. Neth. J. Agric. Sci. 4,

333-356 (1956)

MUMFORD, F. E., STARK, H. M. and SMITH, D. H.: A naturally-occurring cofactor for indoleacetic acid oxidase. Plant Physiol. 37, XIV (1962)

MUNDEL, G. and KRELL, W.: (G) Changes in chemical criteria of a grassland soil due to long term application of high nitrogen rates. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 22, 643-651 (1978)

MUNK, H.: (G) The nitrification of ammonium salts in acid soils. Landw. Forsch. 11, 150-156 (1958)

MUNK, H.: (G) Vertical migration of inorganic phosphate under conditions of a high phosphatc application. Landw. Forsch. 27/I. Sonderh., 192-199 (1972)

MUNN, D.A. and JACKSON, W.A.: Nitrate and ammonium uptake by rooted cuttings of swcet potato. Agron. J. 70, 3J2-316 (1978)

MURAKA, I. P., JACKSON, T. L. and MOORE, D. P.: Effects of N, K and CI on N components or Russet Burbank potatoes. Agron. J. 65, 868 (1973)

MURATA, Y. and MATSUSHIMA, S.: Rice In: Crop Physiology (L.T. EVANS, cd.), p.73-99. Cambridge University Press 1975

MUROZUMI, M., CHOW, T.J. and PATTERSON, C.: Chemical concentrations of pollutant Icad aerosols, terrestrial dust and sea salls in Greenland and Antarctic snow strata. Geochim. Cosmoehim. Acta 33, 1247-1294 (1969)

MURPHY, L. S. and WALSH L. M.: Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: Micronutrients in Agriculture, p. 347-387 (1972)

MURPHY, M.J. and SIEGEL, L.M., TOVE, S.R. and KAMIN, H.: Siroheme: A new prosthetic group participating in six-electron reduction reactions catalyzed b) both sulphite and nitrite reduetases. Proe. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 71, 612-616 (1974)

MURPHY, R. P.: Some factors influencing cation uptake by excised roots of perennial ryegrass. Plant and Soil la, 242-249 (1959)

MYERS, R.J. K. and PAUL, E. A.: Nitrate ion electrode methode for soil nitrate nitrogen determination. Canad. J. Soil Sci. 48, 369-371 (1968)

MYERS, R.J. K. and PAUL, E.A.: Plant uptake and immobilization of 15N-Iabelled ammonium nitrate in a field experiment with wheat. In: Nitrogen-15 in Soil Plant Studies, p.55-64, I.A.E.A. Vienna 1971

MYTTENAERE, C.: (F) Effect of the strontium-calcium ratio on the localisation of strontium and calcium in Pisum salivum. Physiol. Plant 17, 814-827 (1964)

NEALES, T. F. : Components of the total magnesium content within the leaves of white clover and perennial rye grass. Nature 177, 388-389 (1956)

NEISH, A. C.: Studies on chloroplasts. Biochem. J. 33, 300-308 (1939)

NELSON, W. L.: Plant factors affecting potassium availability and uptake, p. 355-380. In: The Role of Potassium in Agriculture. Madison/USA 1968

NEMETH, K.: The effect of K fertilization and K removal by rye-grass in pot experiments on thc K concen tration of the soil solution of various soils. Plant and Soil 42, 97-107 (1975)

NEMETH, K.: The availability of nutrients in the soil as determined by electroultrafiltration (EUF). Adv. Agron. 31, 155-188 (1979)

NEMETH, K. and HARRACH, T.: (G) Interpretation of chemical soil tests in loess soil eroded to it different degree. Landw. Forsch. 30/I. Sonderh., 131-137 (1974)

NEMETH, K., MENGEL, K. and GRIMME, H.: The concentration of K, Ca and Mg in thc saturation extract in relati on to exchangeable K, Ca and Mg. Soil Sci. 109, 179-185 (1970)

NEUBAUER, H. and SCHNEIDER, W.: (G) The nutrient uptake of seedlings and its application for the estimation of the nutrient content in soils. Z.

Pflanzenerniihr. Dung. Bodenk. A 2, 329-362 (1923)

NEUBERT, P., WRAZIDLO, W., VIELEMEYER, H. P., HUNDT, I., GOLLMICK, F. and BER(;MANN, W.: (G) Tables of plant analysis. Inst. of Plant Nutrition, Jena 1970

NEWMAN, A.C.D.: Cation exchange properties of micas. I. The relation between mica composition and potassium exchange in solutions of different pH. J. Soil Sci. 20, 357-373 (1969)

NEWMAN, E. 1.: Root and soil water relations. In: E. W. CARSON: The Plant Root and Its Environment, p. 362-440. University Press of Virginia, Charlottesville 1974

NEWMAN, E.I.: Water relations, p. 157-196. In: Plant Structure Function and Adaptation. Ed. M.A.Hall. Macmillan Press London 1976

NEWMAN, E.I. and ANDREWS, R. E.: Uptake of phosphorus and potassium in relat ion to root growth and root density. Plant and Soil 38, 49-69 (1973)

NEYRA, C.A. and DOBEREINER, J.: Nitrogen fixation in grasses. Adv. in Agron. 29, 1-38 (1977)

NICHOLAS, D. J. D.: Determination or minor element levels in soils with thc Aspergilllls niger method. Trans. Intern. Congr. Soc. Soil Sci. Vol. III, p. 168-182, Madison, Wisc. 1960

NICHOLAS, D. J. D.: Minor mineral nutricnts. Ann. Rcv. Plant Physiol. 12, 63-90 (1961)

NICHOLAS, D.J. D. and NASON, A.: Rolc or molybdcnum as a constitucnt or nitratc rcductasc rrom soybcan leavcs. Plant Physiol. 30. 135-138 (1955)

NICHOLAS, D. J. D. and THOMAS, W. D. E.: Somc effects or hcavy metals on plants grown in soil culturc. Part I. Thc effect or cobalt on rcrtiliscr and soil phosphatc uptakcs and the iron and cobalt status of tomato.

Plant and Soil 5. 67-80 (1954)

NICHOLAS, D. J. D. and THOMAS, W.D.: Some effects of heavy metals on plants grown in soil culture. Part II. The effect of nickel on fertiliser and soil phosphate uptakes and iron and nickel status of tomato. Plant and Soil 5, 182-193 (1954)

NIENSTEDT, E. F.: (G) Influence of nitrogen on the formation of some constituents in green oats. Z. Acker- u. Pflanzenbau 129, 331-354 (1969)

NIGAM, S. N. and MCCONNELL, W.B.: Metabolism of Na_2SeO_4. in Astragalus bisulcatus, lima bean and wheat: a comparative study. J. Exp. Bot. 27, 565-571 (1976)

NISSEN, P.: Uptake of sulfate by roots and leaf slices of barley. Mediated by single, multiphasic mechanisms. Physiol. Plant 24,315-324 (1971)

NISSEN, P.: Uptake and mechanisms: Inorganic and organic. Ann. Rev. Plant Physiol. 25, 53-79 (1974)

NITSOS, R. E. and EVANS, R. J.: Effects of univalent cations on the activity of particulate starch synthetase. Plant Physiol. 44, 1260-1266 (1969)

NOBEL, P. S.: Relation of light-dependent potassium uptake by pea leaf fragments to the pK of the accompanying organic acid. Plant Physiol. 46, 491-493 (1970)

NOBEL, P. S.: Relation of swelling and photophosphorylation to light-induced ion uptake by chloroplasts in vitro. Biochim. Biophys. Acta 131,127-140 (1967)

NOMMIK, H.: The residual effects of nitrogen fertilizers in relation to the quantities of mineral nitrogen recovered in the soil profile. Acta agric. scand. 16, 163-178 (1966)

NOWAKOWSKI, T. Z.: Effects of nitrogen fertilizers on total nitrogen soluble nitrogen and soluble carbohydrate contents of grass. J. Agric. Sci. 59,

387-392 (1962)

NUTTALL, W. F., WARKENTIN, B. P. and CARTER, A. L.: 'A' values of potassium related to other indexes of soil potassium availability. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31, 344-348 (1967)

NYATSANGA, T. and PIERRE, W.H. Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. Agron. J. 65, 936-940 (1973)

NYE, P. H.: The measurement and mechanism of ion diffusion in soil. 1. The relation between self diffusion and bulk-diffusion. .I. Soil Sci. 17, 16-23 (1966)

NYE, P. H.: Processes in the root environment. .I. Soil Sci. 19, 205-215 (1968)

NYE, P.H.: The rate limiting step in plant nutrient absorption from the soil. Soil Sci. 123, 292-297, 1977

NYE, P.R.: Soil properties controlling the supply of nutrients to the root surface. p. 39-49. In:.I. L. HARLEY and R. SCOTT RUSSELL (eds.). The Soil- Root Interface. Academic Press 1979

NYE, P.R. and TINKER, P.B.: Solute Movement in the Soil Root System. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne 1977

OADES, .I. M.: The nature and distribution of iron compounds in soils. Soil and Fertilizers 26, 69-80 (1963)

OAKS, A. and BIDWELL, R. G. S.: Compartimentation of intermediary metabolites. Ann. Rev. Plant Physiol. 21, 43-66 (1970)

OAKS, A., WALLACE, W. and STEVENS, D.: Synthesis and turnover of nitrate reductase in corn roots. Plant Physiol. 50, 649-654 (1972)

OBIGBESAN, G. O.: (G) Investigations into the question of the phosphorus status of Central African soils and the phosphorus response of some phosphate fertilizers. Diss. Agric. Fac. .lustus-Liebig-Universitiit Giessen 1970

OBIGBESAN, G. 0.: The influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops. In : Potassium in Tropical Crops and Soils, p. 311-322. 10th Colloq. Intern. Potash Institute, Berne 1973

O'CONNOR, G.A., LINDSAY, W.L. and OLSEN, S.R.: Diffusion of iron and iron chelates in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35, 407-410 (1971)

ODHNOFF, e.: Boron deficiency and growth. Physiol. Plant. /0, 984-1000 (1957)

OERTLI, .I.J.: Loss of boron from plants through guttation. Soil Sci. 94, 214-219 (1962)

OERTLI, .J.J.: The influence of certain environmental conditions on water and nutrient uptake and nutrient distribution in barley seedlings with special reference to boron. In: Advancing Frontiers Plant Sciences 6, 55-85, L. Chandra ed. Inst. for the Advancement or Science and Culture, New Delhi 1963

OERTLI, J.J.: Controlled-release fertilizers. Fertilizer Research I, 103-123 (1980)

OZBEK, N.: Studies on the chemical methods will be used for determining the phosphorus status of different regions in Turkey. Univ. Ankara Yearbook of the Faculty or Agric., p. 124-162 (1969)

OGUS, L. and Fox, R. L.: Nitrogen recovery from a soil profile by Bromus inermis. Agron. .I. 62,69-71 (1970)

OHKI, K.: Manganese and zinc status related to maximum growth for selected agronomic crops. Proc. of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Managament in Intensive Agriculture. Tokyo p. 659-668 (1977)

OHLROGGE, A. J.: Plant growth regulators in intensive agricultural systems. In: Proc. Inl. Sem. on Soil Environment and Fertility Management in

Intensive Agriculture. (The Soc. Sci. Soil and Manure, .lapan, ed.) p. 590-593. Tokyo 1977

OKUDA, A. and TAKAHASHI, E.: The role of silicon, p. 123-146. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant, Proc. Symp.lntern. Rice Res. Inst., John Hopkins Press, Baltimore/USA 1965

OLDENKAMP, L. and SMILDE, K.W.: Copper deficiency in douglas fir Pseudotsuga menziesii Mirb. Franco). Plant and Soil 25, 150-152 (1966)

OLLAGNIER, M. and OCHS, R.: (F) The chlorine nutrition of oil palm and coconut. Oleagineux, 26e annee, No.6, 367-372 (1971)

OLSEN, S. R.: Micronutrient interactions. In: 'Micronutrients in Agriculture'. Ed. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison/Wisconsin, p. 243-264 (1972)

OLSEN, S. R., COLE, e. V., WATANABE, F. S. and DEAN, e.A.: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US. Dep. Agric. Cir. No. 939, 19 (1954)

OLSEN, S. R. and WATANABE, F. S.: Diffusive supply of phosphorus in relation to soil texture variations. Soil Sci. 110, 318-327 (1970)

ORLOVIUS, K. and HOFNER, W.: (G) Effect of a varied nitrogen application on the rate or assimilation and on the yield formation of spring wheat. Z. Pflanzenerniihr. Bodenkd., Heft 5,631-640 (1976)

OSMOND, C. B.: Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants, p. 347-372. In: Encyclop. Plant Physiol. Vol. 2, Part A. Ed. Liittge and Pitman, Springer Berlin, Heidelberg, New York 1976

OSMOND, C.B.: Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Ann. Rev. Plant Physiol. 29,379-414 (1978)

O'TOOLE, .I.e., OZBUN, J. L. and WALLACE, D. H.: Photosynthetic response to water stress in Phaseolus vulgaris. Physiol. Plantarum 40, 111-114 (1977)

OUELLETTE, G..I. and LACHANCE, R. 0.: Soil and plant analysis as means of diagnosing boron deficiency in alfalfa in Quebec. Canad. J. agric. Sci. 34, 494-503 (1954)

OZAKI, L. G.: Effectiveness of foliar manganese sprays on peas and beans. Amer. Soc. Hort. Proc. 66, 313-316 (1955)

OZANNE, P. G., WOOLEY, J. T. and BROYER, T. e.: Chlorine and bromine in the nutrition of higher plants. Austr. .I. Biol. Sci. 10, 66-79 (1957)

OZOLINA, G. and LAPINA, L.: Effect of copper and nitrogen nutrition of maize and flax on dynamics of nucleic acids. Microelem Prod. Rast. 75-102 (1965)

PAAUW, F. VAN DER: Relations between the potash requirements of crops and meteorological conditions. Plant and Soil 3, 254-268 (1958)

PAAUW, F. VAN DER: Fertilization with phosphorus. Intern. superphosphate manufacturers' association. Extr. Bull. Doculll. No. 32, Paris (1962)

PAAUW, F. VAN DEI: Faciors controlling the etJicicncy of rock phosphatcs for potatoes ancl rye I. on humic sandy soils. Plant and soil 22, 81-98 (1965)

PAAUW, F. VAN OER: (G) Development and evaluation of a new water extraction technique for the determination of available phosphate. Landw. Forsch. 23/II. Sonderh., 102 - 109 (1969)

PADURARIU, A., HOROVITZ, e. T., PALTINEANU, R. and NEGOMIREANU: On the relationship between soil moisture and osmotic potential in maize and sugar beet plants. Physiol. Plant. 22, 850-860 (1969)

PATZOLD, C. and DAMBROTH, M.: (G) Sensitivity to injury. Der Kartoffelbau 15, 291-292 (1964)

PAGE, A.L., GANJE, T.J. and JOSHI, M.S.: Lead quantities in plants, soils and air near some major highways in Southern California. Hilgardia 41,1-31

(1971)

PAGE, E. R.: Studies in soil and plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability. Plant and Soil 16, 247-257 (1962)

PAGE, E. R. and GERWITZ, A.: Phosphate uptake by lettuces and carrots from different soil depths in the field. J. Sci. Fd Agric. 20, 85-90 (1969)

PAGE, M.B. and T ALiBUDEEN, G.: Nitrate concentrations under winter wheat and in fallow soil during summer at Rothamsted. Plant and Soil 47, 527-540 (1977)

PARFITT, R.L.: Anion adsorption by soils and soil materials. Adv. Agron. 30, 1-50 (1978)

PARFITT, R.L. and SMART, R.S.e.: The mechanism of sulfate adsorption on iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. J. 42, 48-50 1978

PARK, e.S.: The micronutrient problem of Korean Agriculture. In: Proc of Internat. Symp. commemorating the 30th Anniversary of Korean Liberation (Nat. Acad Sci. Rep. Korea, ed.) p. 847-862, Seoul 1975

PARKER, J.H.: How fertilizer moves and reacts in the soil. Crops and Soils Magazine, Nov. 1972

PARSONS, J.W. and TINSLEY, J.: Nitrogenous Substances. In: GIESEKING J.E. (ed.). Soil Components, Vol. I. Organic Components p. 263-304, Springer 1975

PARTHIER, B.: (G) The biological fixation of atmospheric nitrogen. Biol. Rdsch. 16, 345-364 (1978)

PATE, J. S.: Movement of nitrogenous solutes in plants, p. 165-187, lAEA-PI-341/13. In: Nitrogen - I 5 in Soil-Plant Studies. International Atomic Energy Agency, Vienna 1971 PATE, J.S.: Transport and partitioning of nitrogenous solutes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31. 313-340 (1980)

PATE, J.S., ATKINS, e.A., HAMEL, K., McNEIL, D.L. and LAYZELL, D.B.: Transport of organic solutes in phloem and xylem of a nodulated

legume. Plant Physiol. 63, 1082-1088 (1979)

PATRICK, W. H. jr. and MAHAPATRA, I. G.: Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Ad. Agron. 20, 323-359 (1968)

PAl RICK, W.H. jr. and REDDY, K.R.: Fertilizer nitrogen reactions in flooded soils. Proc. Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculturc. p. 275-281, Tokyo 1977

PAUL. R.E. and JONES, R.L.: Studies on the secretion of maize root cap slime. II Localization of slime production. Plant Physiol. 56, 307-3 I 2 (1975)

PAUL. R.E. and JONES, R.L.: Studies on the secretion of maize root cap slime. IV Evidence for the involvement of dictyosomes. Plant Physiol. 57, 249-256 (1976)

PAUL, R.E., JOHNSON, e.M. and JONES, R.L.: Studies on the secretion of maize root cap slime. I Some properties of the secreted polymer. Plant Physiol. 56, 300-306 (1975)

PEDRO, G.: (F) Pedogenesis in the humid tropics and the dynamics of potassium, p. 23-49. In: Potassium in Tropical Crops and Soils. Proc. 10th Colloq. Intern. Potash Institute, Berne 1973

PEECH, M.: Lime requirements vs. soil pH eurves for soils of New York State. Ithaca, N.Y. Agronomy, Cornell University 1961

PELTON, W. L.: Influence of low rates on wheat yield in southwestern Saskatchcwan. Canad. .I. Plant Sci. 49, 607-614 (1969)

PENNINGSFELD, F.: (G) COrapplication. in: .J. BECK ER-DILLINGEN, p. 178 - 180, Festschrift zun1 Bestehen der Staatl. Lehr- u. Forschungsanstalt f. Gartenbau in Weihenstephan, Bayr. Landw. Verlag 1954

PENNINGSFELD, F. and FORCHTHAMMER, L.: (G) Response of the most important vegetables on a varied nutrient ratio in fertilizer application.

Die Gartenbauwiss. 8, 347-372 (1961)

PENNINGSFELD, F. and KURZMANN, P.: (G) Response of some important fruits on deficiency in macronutrients. Jahresbericht 1966/67 der Staatl. Lehr - u. Forschungsanstalt f. Gartenbau in Weihenstephan, S. I-50 (1966/67)

PENNY, M.G. and BOWLING, D.J.F.: A study of potassium gradients in the epidermis of intact leaves of Commelina communis L. in relation to stomatal opening. Planta 119, 17-25 (1974)

PEOPLES, T.R. and KOCH, D.W.: Role of potassium in carbon dioxide assimilation in Medicago sativa L. Plant Physiol. 63, 878-881 (1979)

PERUR, N. G., SMITH, R. L. and WIEBE, H. H.: Effect of iron chlorosis on protein fractions of corn leaf tissues. Plant Physiol. 36, 736-739 (1961)

PETER, A. V.: Fertilizer requirement in developing countries. The Fertilizer Society, Proc., No. 188, London 1980

PETERSON, P. J.: The distribution of Zn-65 in Agrostis tenuis and A. stolonifera tissues. J. Exp. Bot. 20, 863-875 (1969)

PETERSON, P.J. and BUTLER, G. W.: The uptake and assimilation of selenite by higher plants. Aust. J. BioI. Sci. 15, 126-146 (1962)

PETTERSON, A.: Heavy metal ion uptake by plants from solutions with metal ion, plant species and growth period variations. Plant and Soil 45, 445-459 (1976)

PFAFF, C.: (G) The behaviour of nitrogen in the soil after a long term Iysimeter experiment. Z. Acker- u. Pflanzenbau 117, 77-99 (1963)

PFAFF, C.: (G) The leaching of calcium, magnesium, chloride, and sulphate out of the soil profile (lysimeter experiments). Z. Acker- u. Pflanzenbau 117, 117-128 (1963)

PFLUGER, R.: (G) Investigations on light-induced cation fluxes of isolated chloroplasts. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 87, 383-388 (1974)

PFLUGER, R. and MENGEL, K.: (G) The photochemical activity of chloroplasts obtained from plants with a different potassium nutrition. Plant and Soil 36, 417-425 (1972)

PFLUGER, R. and WIEDEMANN, R.: (G) Effect of monovalent cations on the nitrate reduction in Spinacia oleracea L. Z. Pflanzenphysiol. 85, 125-133 (1977)

PIERCE, W.S. and HIGINBOTHAM, N.: Compartments and fluxes of K^+, Na^+, and Cl^- in Avena coleoptile cells. Plant Physiol. 46, 666-672 (1970)

PIMENTEL, D., HURD, L. E., BELLOTTI, A. e., FORSTER, M. J., OKA, I. N., SHOLES, O. D. and WHITMAN, R.J.: Food production and the energy crisis. Science 182, 443-449 (1973)

PISSAREK, H. P.: (G) The development of potassium deficiency symptoms in spring rape. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 136, 1-96 (1973)

PISSAREK, H.P.: (G) Influence of intensity and performance of Mg deficiency on the grain yield of oats. Z. Acker- u. Pflanzenbau 148, 62-71 (1979)

PITMAN, M.G.: Uptake and transport of ions in barley seedlings. Of. Correlation between transport to the shoot and relative growth rate. Aust..I. bioI. Sci. 25, 905-919 (1972)

PLANT, W.: The eflects of molybdenum deficiency and mineral toxicities on crop in acid soils. J. hort. Sci. 31, 163-176 (1956)

PLAIT, S.G., PLAUT, Z. and BASSHAM, J.A.: Ammonia regulation of carbon metabolism in photosynthesizing leaf discs. Plant Physiol. 60, 739-742 (1977)

PLUENNEKE, R.II. and JOHAM, H. E.: The influence of low substrate sodium levels upon the free amino acid content of cotton Icavcs. Plant Physiol. 49, 502-505 (1972)

POLJAKOFF-MAYBER, A. and GALlo, .I.: Plants in Saline Environmcnts.

Ecological Studies, Vol. 15. Springcr-Vcrlag, Berlin, Heidelberg, New York 1975

POLl.ARD, A.S., PARR, A. J. and LOUGHMAN, B.e.: Boron in rcialion to membrane funclion in highcr planls. .I. Exp. Bot. 28, 831-841 (1977)

PONNAMPERUMA, F. N.: Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. In: The Mineral Nutrition of the Rice Plant, Proc. of a Symposium at The Intern. Rice Res. Inst., Febr. 1964, p. 295-328. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland 1965

PONNAMPERUMA, F.N.: The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24, 29-96 (1972)

PONNAMPERUMA, F.N.: Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In: Soils and Rice. (The Intern. Rice Research Institute, ed.) p.421 - 441, Los Banos, Philippines 1978

POOLE, R.J.: Energy coupling for membrane transport. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 437 - 460 (1978)

POOVAIAH, B.W.: Role of calcium in ripening and senescence. Comm. Soil Sci. Plant Anal. la, 83-88 (1979)

POOVAIAH, B. W. and LEOPOLD, A. C.: Inhibition of abscission by calcium. Plant Physiol. 51, 848 - 851 (1973)

PORTIS, A.R. and MCCARTY, R.E.: Effects of adenine nucleotides and of phosphorylation on H^+ uptake and the magnitude of the H^+ gradient in illuminated chloroplasts. J. Biol. Chem. 249, 6250 - 6254 (1974)

POSKUTA, J. and KOCHANSKA, K.: The effect of potassium glycidate on the rates of CO exchange and photosynthetic products of bean leaves. Z. Pflanzenphysiol. 89, 393 - 400 (1978)

POSSINGHAM, J. V.: Mineral nutrition and amino acids in tomato. Aust. J. BioI. Sci. 9, 539-551 (1956)

POSSINGHAM, J. V., VESK, M. and MERCERI, F. V.: The fine structure of

leaf cells of manganesedeficient spinach. J. Ultrastructure Res. 11, 68-83 (1964)

POWRIE, J. K.: The effect of cobalt on the growth of young lucerne on a siliceous sand. Plant and Soil 21, 81-93 (1964)

PRAAG, H.J . VAN, FISCHER, V. and RIGA, A.: Fate of fertilizer nitrogen applied to winter wheat as Na15N03 and (15NH4)zSO. studied in microplots through a four - course rotation: 2. Fixed ammonium turnover and nitrogen reversion. Soil Sci. 130, 100-105 (1980)

PRASKE, J. A. and PLOCKE, D.J.: A role for zinc in the structural integrity of the cytoplasmic ribosomes of Euglena gracilis. Plant Physiol. 48, 150-155 (1971)

PRATT, P. F.: Chromium, p. 136-141. Ln: H. D. CHAPMAN: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, Div. of Agric. Sciences, 1966

PRATT, P. F.: Vanadium, p.480 - 483. In: H. D. CHAPMAN: Diagnostic Criteria for Plants and Soils, University of California, Riverside 1966

PRAUSSE, A.: (G) Results of a three years trial with phosphorus following the application of various phosphate forms. Thaer-Archiv 12, 97-114 (1968)

PREISS, J. and LEVI, C.: Metabolism of starch in leaves. In: Photosynthesis II, New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 282-312. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979

PRICE, C. A.: RNA-synthesis, zinc deficiency and the kinetics of growth. Plant Physiol. 37, XXI (1962)

PRICE, C. A.: Iron compounds and plant nutrition. Ann. Rev. Plant Physiol. 19, 239-248 (1968)

PRICE, C.A.: Molecular Approaches to Plant Physiology. McGraw-Hill, p. 398, 1970

PRICE, C.A., CLARK, H.E. and FUNKHOUSER, H. E.: Functions of

micronutrients in plants. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. of America, Madison/Wisconsin, p. 731-742 (1972)

PRIMOST, E.: (G) The dependence of grain yield, gluten content and swelling capacity of whcat on nitrogen application and soil class. Plant and Soil 16, 94-107 (1962)

PRIMOST, E.: (G) The influence offertilizer application on the quality of wheat. Landw. Forscll., 22. Sonderh., 149-157 (1968)

PRIMOST, E. and RITTMEYER, G.: (G) Changes in the structure of whcat culms, rcsulting from CCC application, in relation to cultivars and sites. Z. Ackcr- u. PI-anzenbau 128, 117-138 (1968)

PRINCE, A.L., ZIMMERMAN, M. and BEAR, F. E.: The magnesium supplying powers of 20 New Jersey soils. Soil Sci. 63, 69-78 (1947)

PRISCO, J. T. and O'LEARY, .I. W.: The effect of humidity and cytokinin on growth and water relations of salt-stressed bean plants. Plant and Soil 39, 263-276 (1973)

PRUMMEL, J.: Fertilizer placement experiments. Plant and Soil 8, 231-253 (1957)

PUCKETT, K.J., NIEBOER, E., FLORA, W.P. and RICHARDSON, D.H.S.: Sulfur dioxide: its effect on photosynthetic C-14 fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. New Phytol. 72,141-154 (1973)

PULSS, G. and HAGEMEISTER, H.: (G) Hypomagnesaemie after the feeding of wilted silage of pasture herbage during the stable period. Z. Tierphysiol., Tiererniihr. u. Futtermittelk. 25, 32-42 (1969)

PUR ITCH, G.S. and BARKER, A. V.: Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. Plant Physiol. 42, 1229-1238 (1967)

QUASTEL, J.H.: Soil metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 16, 217-240

(1965)
RADMER, R. and KOK, B.: Energy capture in photosynthesis: Photosystem II. Ann. Rev. Biochem. 44, 409-433 (1975)
RAGGIO, M. and RAGGIO, N.: Root nodules. Ann. Rev. Plant Physiol. 13, 109-128 (1962)
RAGHAVENDRA, A.S. and DAS, V.S.R.: Photochemical activities of chloroplasts isolated from plants with the C-4 pathway of photosynthesis and from plants with the Calvin cycle. Z. Pflanzenphysiol. 88 (1978)
RAHIMI, A. and BUSSLER, W.: (G) Physiological hypotheses in the formation of copper deficiency. Z. Pflanzenerniihr. Bodenkd. 136, 25-32 (1973)
RAIKOV, L.: Reclamation of solonetz soiLs in Bulgaria, p. 35-47. In: 1. SZABOLCS: European Solonetz Soils and Their Reclamation. Akademiai Kiad6, Budapest 1971
RAINS, D.W.: Salt transport by plants in relation to salinity. Ann. Rev. Plant Physiol. 23, 367-388 (1972)
RAMAN, K. V. and JACKSON, M. L.: Vermiculite surface morphology. In: Clays and clay minerals, p. 423-429. 12th Natl. Conf. Pergamon Press, New York 1964
RANDALL, G. W. and SCHULTE, E.E.: Manganese fertilization of soybeans in Wisconsin. Proc. Wis. Fert. and Aglime Conf. la, 4 - 10 (1971)
RANDHAWA, N.S., SINHA, M.K. and TAKKAR, P.N.: Micronutrients. In: Soils and Rice (Intern. Rice Research Institute, ed.) p. 581-603, Los Banos, Philippines 1978
RAO, K. P. and RAINS, D. W.: Nitrate absorption by barley. Plant Physiol. 57, 55-58 (1976)
RAPP, A., FRANCK, H. and ULLEMEYER, H.: (G) The aromatic compounds

of various wines. Deutsche Lebensmittel-Rundsch. 3,81-85 (1971)
RASCHKE, R.: Stomatal action. Ann. Rev. Plant Physiol. 26, 309-340 (1975)
RATHORE, V. S., BAJAJ, Y. P. S. and WITTWER, S. H.: Sub cellular localization of zinc and calcium in bean (Phaseolus vulgaris L.) tissues. Plant Physiol. 49, 207-211 (1972)
RATHSACK, R.: (G) The nitrification inhibiting effect of dicyan diamide. Landw. Forscll. 31, 347-358 (1978)
RATNER, A. and JACOBY, B.: Effect of K^+, its counter anion, and pH on sodium efflux of barley root tips. J. Exp. Botany 27,843-852 (1976)
RAUSER, W.E.: Zinc toxicity in hydroponic culture. Can. J. Hot. 51, 301-304 (1973)
RAVEN, .I.A. and SMITH, F.A.: Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. New Phytol 76, 415-431 (1976)
RAY, T.B. and BLACK, c.c.: The C4 pathway and its regulation. In : Photosynthesis II, Encycl. Plant Physiol. New Series Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 77-101. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979
REICHENBACH, H. VON: Factors of mica transformation. In: Potassium in Soil, p. 33-42. Proc. 9th Colloq. Int. Potash Inst., Bern 1972
REILLY, C.: The uptake and accumulation of copper by (De Wild). Duvig and Planke. New Phytologist 68,1081-1087 (1969)
REISENAUER, H. M.: Cobalt in nitrogen fixation by a legume. Nature 186, 375-376 (1960)
REISENAUER, H. M.: The effect of sulfur on the absorption and utilization of molybdenum by peas. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 871-875 (1963)
REISENAUER, H. M., T ABIKH, A. A. and STOUT, P. R.: Molybdenum reactions with soils and the hydrous oxides of iron, aluminium and

titanium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 23-27 (1962)

REISENAUER, H. M., WALSH, L. M. and HOEFT, R. G.: Testing soils for sulphur, boron, molyb denum and chlorine, p. 173-200. In: L.M. WALSH and J. D.BEATON: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison/Wisconsin 1973

REISSIG, H.: (G) The influence of liming on the Sr-90 uptake by crops under field conditions. Kernenergie 5, 678-684 (1962)

REITH, J. W.S.: Fertilizer placement for swedes and turnips. Emp. J. expo Agric. 27, 300-312 (1959)

REITH, J. W. S.: Soil properties limiting the efficiency of fertilizers, p. 275-278. VIIth Fertilizer World Congress, Vienna 1972

RENDIG, V. V., OPUTA, C. and MCCOMB, E. A.: Effects of suJphur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars and N/S ratios in young corn pJants. Plant and Soil 44, 423-437 ,(1976)

RENGER, M. and STREBEL, O.: (G) Nitrate supply to plant roots as a function of depth and time. Landw. Forsch. Sonderh. 33/II, 13-19 (1976)

RENSING, L. and CORNELIUS, G.: (G) Biological membranes as components of oscillating systems. BioI. Rdsch. 18, 197-209 (1980)

REUTHER, W. and LABANAUSKAS, C.K.: Copper, p. 157-179. In: H.C.CHAPMAN: Diagnostic Criteria for PJants. Univ. of CaJifornia, Agric. Pub. Berkley U.S. 1966

REZK, A.1. and AMER, F.: Exchangeable potassium and its selectivity by soils as quantityintensity parameters for soil potassium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 876-880 (1969)

RHOADES, J. D., INGVALSON, R. D. and HATCHER, J. T.: Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 934-941 (1970)

RIBAILLIER, D. and AUZAC, J. d': (F) New perspectives in hormonale stimulation of the production of Hevea brasiliensis. R.G.C.p. 47 (4),433-439 (1970)

RICH, C. J.: Mineralogy of soil potassium. In: The Role of Potassium in Agriculture, p. 79-96. Amer. Soc. Agron., Madison/USA 1968

RICH, C.J.: Potassium in soil minerals, p. 15-31. In: Potassium in Soil, Intern. Potash 1nst., Berne 1972

RICH, C. J. and BLACK, W. R.: Potassium exchange as affected by cation size, pH and mineral structure. Soil Sci. 97, 384-390 (1964)

RICHARDS, L.A.: A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Sci. 51, 377-386 (1941)

RICHARDS, l.R.: A review of FAO data responses of tropical crops to fertilizers 1961-1977. Fisons Ltd. Felixstowe 1979

RIEHLE, G. and JUNG, J.: (G) The process of nitrite formation in spinach. Landw. Forsch. 19. 231-242 (1966)

RIEHM, H.: (G) The ammonium lactate acetic acid method for the determination of easily soluble phosphates in calcareous soils. Agrochimica 3, 49-65 (1959)

RIEHM, H. and QUELLMALZ, E.: (G) The determination of plant nutrients in rain water and in the air and their importance for the agriculture, p.171-183. In: H. RIEHM: 100 Jahre Staatl. Landw. Versuchs- und Forschungsanstalt Augustenberg 1959

RILEY, D. and BARBER, S.A.: Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35, 301-306 (1971)

RINNE, R.W. and LANGSTON, R.G.: Effect of growth on redistribution of some mineral elements in peppermint. Plant Physiol. 35, 210-215 (1960)

RIOS, M.A. and PEARSON, R. W.: The effect of some chemical environmental factors on cotIon behavior. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28, 232-235 (1964)

RIVIERE, J.: (F) Studies on the rhizosphere of wheat. Ann. Agron. 11, 397 - 440 (1960)

ROBARDS, A.W., JACKSON, S.M., CLARKSON, D.T. and SANDERSON, J.: The structure of barley roots in relation to the transport of ions into the stele. Protoplasma 77. 291-312 (1973)

ROBERTSON, G. A. and LOUGHMAN, B. c.: Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in Vicia foba L. New Phytol. 73, 291-298 (1974)

ROBINSON, F. A.: Vitamins, p. 195-220. In: Phytochemistry. Vol. III. Ed. L. P. Miller, 1973

ROEMER, T. and SCHEFFER, F.: (G) Textbook of Agronomy, 5. ed., p. 149, Verlag. Parey, Berlin and Hamburg 1959

ROMER, W.: (G) Investigations into the capacity of the photosynthetic apparatus of barley (Hordeum distichon L.) and in relation to environmental conditions. Arch. Bodenfrucht barkeit U. Pflanzenprodukt. 15,415-423 (1971)

ROM HELD, V. and MARSCHNER, H.: Fine regulation of iron uptake by the Fe-efiicienl plant Helianthus annUl/So In: The Soil-Root Interface (J.L. HARLEY and R.S. RUSSELL, cds.) p. 405-417. Academic Press, London 1979

ROMHELD, V. and MARSCHNER, H.: Rhythmic iron stress reactions in sunflower. Physio!. Plant 53 in press (1981)

ROLAND, J. C. and BESSOLES, M.: (F) Detection of calcium in the cells of the collenchym. C. R. Acad. Sci., Ser. D, 267, 589-592 (1968)

ROLL-HANSEN, J.: Steaming of soil for tomatoes. State Experiment Station

Kvitzmar, Stjordal, Norway, Report No. 10 (1952)

ROLSTON, D.E.: Measuring nitrogen loss from denitrification. California Agriculture 31, 12-13 (1977)

RORISON, I. H.: Some experimental aspects of the calcicole-calcifuge problem. I. The etTccts or competition and mineral nutrition upon seedling growth in the field. J. Ecol' 48, 585-599 (1960)

RORISON, 1. H.: The calcicole-calcifuge probJem. IT. The effects of mineral nutrition on seedling growth in solution culture. J. Ecol 48, 679-688 (1960)

RORISON, l.H.: Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants. Blackwell Scientific Publ. Oxford and Edinburgh 1969

RORISON, 1. H.: The effects of soil acidity on nutrient availability and plant response. In : HUTCHINSON, T.C. and HAVAS, M. (cds.). Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems, p. 283-304. Plenum Press 1980

ROSCOE, B.: The distribution and condition of soil phosphate under old permanent pasture. Plant and Soil 12, 17-29 (1960)

ROUBELAKIS, K.A. and KLIEWER, W.M.: Changes in the activities of ornithinc transcarbamylase and arginase, and concentrations of nitrogenous substances during germination and seedling development of Vilis vinifera L. Vi tis 17, 377-385 (1978)

ROUSSEL, N., VAN STALLEN, R. and VLASSAK, K.: (F) Results of experimcntation over two years with unhydrous ammonia. J. Intern. I nst. Sugar Beet Res., Tienen 2. 35-52 (1966)

Roux, L.: (F) Condensed phosphates in mineral nutrition. Application of a high Iy condensed potassium polyphosphate to barley grown in solution culture. Ann. Physiol. veg. 10,83-98 (1968)

ROVIRA, A.D. and DAVEY. e.B.: Biology of the rhizosphere. In: The Plant

Root and its Environment (E.W. CARSON, cd.), p. 153-204. University Press of Virginia, Charlotlesville 1974

ROWELL, D. L., MARTIN, M. W. and NYE PH.: The measurement and mechanism or ion dilrusion in soils. In. The ellcct of moisture content and soil-solution concentration on the self-dilrusion of ions in soils. .I. Soil Sci. 18, 204-222 (1967)

RUSH, D. W. and EpSTEIN, E.: Differences between salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of the tomato. Plant Physiol. 57, 162-166 (1976)

Russ, E.: (G) The determination of available copper and manganese in soils with particular regard to the seedling method. Diss. d. Landw. Fakultat, Giessen 1958

RUSSELL, E. W.: Soil Conditions and Plant Growth, 10th Edition, Longman 1973

RUSSELL, R. S. and BARBER, D. A.: The relationship between salt uptake and the absorption of water by intact plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 11, 127-140 (1960)

RUSSELL, R. S. and CLARKSON, D. T.: Ion transport in root systems. In: N. SUNDERLAND: Perspectives in Experimental Biology. Vol.2. Botany, p. 401-411, Pergamon Press, Oxford and New York 1976

RUSSELL, R. S., RICKSON, J. B. and ADAMS, S. N.: Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by tracer methods. J. Soil Sci. 5, 85-105 (1954)

RUTLAND, R.B.: Radioisotopic evidence of immobilization of iron in Azalea by excess calcium bicarbonate. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (5), 653-655 (1971)

RUTLAND, R.B. and BUKOVAC, M.J.: The effect of calcium bicarbonate on iron absorption and distribution by Chrysanthemum morifolium (Ram). Plant and Soil 35, 225-236 (1971)

RYAN, P.F.: Fertilizer placement for kale. Irish J. Agric. Res. 1,231-236 (1962)

RYDEN, J.C., SYERS, J.K. and HARRIS, R.F.: Phosphorus in runoff and streams. Adv. in Agron. 25, 1-45 (1973)

SABEY, B. R.: Influence of soil moisture tension on nitrate accumulation in soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 33, 263-266 (1969)

SADEGHIAN, E. and KUHN, H.: (G) Effect of ancymidol and ethrel on the gibberellic acid content (GA3) of cereal species. Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 135, 309 - 314 (1976)

SAGLIO, P.: (F) Iron nutrition of grapes. Ann. Physiol. veg. II, 27-35 (1969)

SALAMI, U.A. and KENEFICK, D.G.: Stimulation of growth in zinc deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. Crop Sci. 10, 291-294 (1970)

SALMON, R. C. and ARNOLD, P. W.: The uptake of magnesium under exhaustive cropping. J. Agric. Sci. 61, 421 - 425 (1963)

SAN VALENTIN, G.O., ROBERTSON, W.K., JOHNSON, J.T. and WEEKS, W.W.: Effect of slow release fertilizer in fertilizer residues and on yield and composition of flue - cured tobacco. Agron. J. 70,345-348 (1978)

SANDERS, F.E. and TINKER, P.B.: Phosphate flow into mycorrhizal roots. Pestic. Sci. 4, 385-395 (1973)

SANDERS, J.L. and BROWN, D.A.: A new fiber optic technique for measuring root growth of soybeans under field conditions. Agron. J. 70, 1073 - 1076 (1978)

SANDERSON, G. W. and COCKING, E. C.: Enzymic assimilation of nitrate in tomato plants. 1. Reduction of nitrate to nitrite. Plant Physiol. 39, 416 - 422 (1964)

SANTARJUS, K.A.: (G) Dependance of Hill reaction and photophosphorylation on water content and their importance for draught and frost resistance of plants. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 80,133-135

(1967)

SAUERBECK, D. and JOHNEN, B.: (G) The turnover of plants during the growth period and its influence on 'soil respiration'. Z. Pflanzenern. Bodenk. Heft 3,315-328 (1976)

SAUTER, J.J.: Analysis of the amino acids and amides in the xylem sap of Salix caprea L. in early spring. Pflanzenphysiol. 79, 276-280 (1976)

SCAIFE, M.A. and CLARKSON, D.T.: Calcium related disorders in plants - a possible explanation for the effect of weather. Plant and Soil. 50, 723-725 (1978)

SCHACHTSCHABEL, P.: (G) Investigations into the sorption of clay minerals and organic soil colloids and the determination of the proportion of these colloids on the total sorption of soils. Kolloid-Beiheft 51, 199-276 (1940)

SCHACHTSCHABEL, P.: (G) The available magnesium in soils and its determination. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 67, 9 - 23 (1954)

SCHACHTSCHABEL, P.: (G) Manganese in the soil. Die Phosphorsaure 15,133-139 (1955)

SCHACHTSCHABEL, P.: (G) Optimum pH, phosphorus and potassium in arable soils. Landw. Forsch., 17. Sonderheft, 60- 82 (1963)

SCHACHTSCHABEL, P.: (G) The influence of the pH on soil structure and the turnover of fertilizer phosphates in the soil. Landw. Forsch. 21, Sonderh., 40-49 (1967)

SCHAFER, P. and SIEBOLD, M.: (G) Influence of increasing potash application rates on yield and quality of the spring wheat 'Kolibri'. Results from a potash fixing location. Bayer. Landw. Jahrb. 49, 19-39 (1972)

SCHARPF, H. C. and WEHRMANN, J.: (G) Importance of mineral nitrogen quantity in the soil profile at the beginning of the growth period for the

N-application rate for winter whcat. Landw. Forsch. 32/I, Sonderheft, 100-114 (1975)

SCHARRER, K. and BURKE, R.: (G) The influence of nutrition on the vitamin A (carotcnc) - vnthesis in crops. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 62, 244-262 (1953)

SCHARRER, K. and JUNG, J.: (G) The influence of nutrition on the cationlanion ratio in plants. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 7l, 76-94 (1955)

SCHARRER, K. and MENGEL, K.: (G) On the transient occurrence of visible magnesium deficiency in oats. Agrochimica 4, 3-24 (1960)

SCHARRER, K. and PREISSNER, R.: (G) The vitamin B, content of plants in relation to nutrition. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 67, 166-179 (1954)

SCHARRER, K. and SCHAUMLOFFEL, E.: (G) The uptake of copper by spring cereals grown on copper deficient soils. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 89, 1-17 (1960)

SCHARRER, K. and WERNER, W.: (G) Dependence of ascorbic acid content on the nutrition of the plant. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 77,97-110 (1957)

SCHECHTNER, G. and DEUTSCH, A.: Nitrogen efficiency in field trials and its economic significance for milk production. In: Nitrogen and Grassland, p. 199-219. Wageningen, Proc. 1 st General Meeting, European Grassland Fed., Centre for Agricultural Publications and Documentation 1966

SCHEFFER, F. and SCHACHTSCHABEL, P.: (G) Textbook of Soil Science. 9th ed. F.-Enke-Vcrlag, Stuttgart 1976

SCHEFFER, F. and WELTE, E.: (G) Plant Nutrition, 3rded.,p. 163, P.-Enke-Verlag, Stul Igart 1955

SCHEFFER, F., WELTE, E. and VON REICHENBACH, H.: (G) Potassium content and mincral composition of the 'Gottinger E-Feld'. Z. Pflanzenernahr. DUng: Bodenk. 88, 115-12H (1960)

SCHERER, H.W.: (G) Influence of Fe and Mn on the content of minerals and organic acids in maize and sun flower. Ph. D. Thesis, FB 19 Fac. Nutritional Sci., .Juslus Liebig-University, Giessen 1978

SCHERER, H.W.: (G) Dynamics and availability of non exchangeable N H, I in soils. Landw. Forsch., Sonderh. 37,217-225, Kongressband 1980

SCHERER, H.W. and DANZEISEN, L.: (G) The effect of increasing nitrogen fertilizcr ratcs on the development of root nodules, on the symbiotic N2 assimilation, and on growth and yield of broad beans (Vicia faba L.). Z. Pflanzenerniihr. Bodenkd. 143,464-470 (1980)

SCHERER, H.W. and MENGEL, K.: (G) Contents of fixed ammonium nitrogen of twclve rcpresentative soils in Hessia. Landw. Forsch. 32, 416-424 (1979)

SCHIFF, J.A. and HODSON, R.e.: The metabolism of sulfate. Ann. Rev. Plant Physiol. 24, 381-414 (1973)

SCHILDBACII, R.: (G) Relationships betwecn fertilizer application to brcwing barlcy and the beer quality. Z. Acker- u. Pilanzenbau /36,219-237 (1972)

SCIIiMANSKY, e.: (G) Invcstigations into thc translocation of magnesium (Mg-2H) in sun flowers. Z. Pflanzenerniihr. Bodcnk. 136, 68-HI (1973)

SCHU'CHTE, G.: (G) Nutricnt uptake of plants and mycorrhiza. ctotropl1ic mycorrhiza. Kali-Bricl'c, ((Jellllclwf) Fachgcb. 2,6. Foige (1976)

SCHLICHTING, E.: (G) Thc phosphate and molyhdatc bond in soil profiles with iroa congregations. Z. Pllanzcncrnilhr. YO, 201-208 (1960)

SCHLICHTING, E. and SCHWERTMANN, U.: (G) Pseudogley and Gley. Verlag Chemie, Weinheim 1973

SCHMALFUSS, K.: (G) Plant Nutrition and Soil Science. 9th ed., p. 160. S.-Hirzel-Verlag, Stuttgart I 963

SCHMALFUSS, K. and KOLBE, G.: (G) The farmyard manure. Albrecht-Thaer-Archiv 7, 199-213 (1963)

SCHMALFUSS, K. and REINICKE, I.: (G) The effect of increasing potassium rates in the form of KCI and K2SO. on yield and content of water, N-compounds, K, CI and S fractions of spinach grown in pot experiments. Z. Pflanzenernahr. DUng. Bodenk. 91, 21-29 (1960)

SCHMID, R.: (G) Nitrogen fixing plants. Naturw. Rdsch. 21, 384- 386 (1968)

SCHMID, W.E., HAAG, H.P. and EpSTEIN, E.: Absorption of zinc by excised barley roots. Physiol. Plant 18, 860-869 (1965)

SCHMIDT, A.: Photosynthetic assimilation of sulfur compounds. In: Photosynthesis I I, Encycl. Plant Physio!. New Series Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 481-486. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979

SCHMIDT, K. and UNGER, H.: (G) Comparative investigations into the effects of straw and farmyard manure application on crop yield and the cellulytic activity in the soil. Albrecht Thaer-Archiv 12, 227-239 (1968)

SCHMITT, L. and BRAUER, A.: (G) Compound fertilizers and straight fertilizers in trials lasting 10 years. Landw. Forsch. 22, 244-261 (1969)

SCHMITT, L. and BRAUER, A.: (G) Seventy-five years Fertilizer Application Experiments on Meadows of the Agricultural Experimental Station of Darmstadt - Results of the oldest exact Experiments of the European Continent. J.D. Sauer lander's Verlag Frankfurt/Main 1979

SCHNITZER, M. and SKINNER, S. I. M.: Organo-metallic interactions in soils. I V. Carboxyl and hydroxyl groups in organic matter and metal retention. Soil Sci. 99, 278-284 (1965)

SCHON, M., NIEDERBUDDE, E.A. and MAHKORN, A.: (G) Results of a 20

years lasting experiment with mineral fertilization and farm yard manure application in the loess area near Landsberg (Lech). Z. Acker- u. Pflanzenbau 143, 27-37 (1976)

SCHOEN, R. and RYE, R. G.: Sulfur isotope distribution in solfataras, Yellowstone National Park. Science 170, 1082-1084 (1971)

SCHOFIELD, R. K.: A ratio law governing the equilibrium of cations in the soil solution. Proc. I I th Int. Congr. pure appl. Chern. London 3, 257-261 (1947)

SCHOFIELD, R.K.: Can a precise meaning be given to 'available' soil phosphorus? Soils and Fertilizers 28, 373-375 (1955)

SCHOUWENBURG, J. Ch. and SCHUFFELEN, A.C.: Potassium exchange behaviour of an illite. Neth. J. Agric. Sci. /1, 13-22 (1963)

SCHRADER, L. E., RITENOUR, G. L., EILRICH, G. L. and HAGEMAN, R. H.: Some characteristics of nitrate reductase from higher plants. Plant Physiol. 43, 930-940 (1968)

SCHREIBER, R.: (G) Effect of magnesium on the yield and the nutrient uptake of K20 and MgO by cereals. Z. PfJanzenernahr. DUng. Bodenk. 48, 37-64 (1949)

SCHROEDER, D.: (G) Potassium fixation and potassium release of loess soils. Landw. Forsch. 8,1-7 (1955)

SCHROEDER, D.: (G) Potassium in soils and potassium nutrition of plants. Kali-Briefe, Fachgeb. 1. 3. Folge (1976)

SCHROEDER, D.: Structure and weathering of potassium containing minerals. In: Potassium Research-Review and Trends. p. 43-63. Proc. 11th Congr. Int. Potash Inst., Bern 1978

SCHROEDER, D. and ZAHIROLESLAM, S.: (G) Magnesium contents of Schleswig-Holstein soils. Z. PfJanzenernahr. DUng. Bodenk. 100,207-215 (1963)

SCHUBERT, K.R. and EVANs, H.J.: Hydrogen evolution a major factor aftecting the efficiency of nitrogen fixation in nodulated symbionts. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 73, 1207-1211 (1976)

SCHUBERT, K.R., JENNINGS, N.T. and EVANS, H.J.: Hydrogen reactions of nodulated Icguminous plants. Plant Physiol. 61, 398-401 (1978)

SCHOLLER, H., REICHARD, Th. and NEMETH, K.: (G) Relationship between P fertilization, yield, P uptake and soil tests. Landw. Forsch. 28, 147-157 (1975)

SCHUFFELEN, A. c.: (G) Nutrient content and nutrient release in soils. Vortragstagung Chcmic und Landwirtschaftliche Produktion. 100 Jahre LandwirtschaFtlich-chemische Bundesvcrsuchsanstalt Wien, 27-42 (1971)

SCHUMACHER, R. and FRANKENHAUSER, F.: (G) Fight against bitter pit. Schweiz. Z. r. Obslu. Weinbau 104, No 16424 (1968)

SCHUPHAN, W.: (G) Quality of Crops for Human Nutrition. BL V-Verlagsges. MUnchen, Bonn, Wien 1961

SCHUPHAN, W., KLING, M. and OVERBECK, G.: (G) Effect of genetic and environmcntal factors on the contents of vitamin Bb vitamin B2 and niacin in winter and spring whcat. Qualit. plant. materiae veg. (Den Haag) 15,177-214 (1968)

SCHUURMAN, J. J.: Effects of density of top and subsoil on root and top growth of oats. Z. Acker- u. PfJanzenbau 134, 185-199 (1971)

SCHWERTMANN, U.: (G) The selective cation adsorption of the clay fraction of some soils developcd from sediments. Z. PfJanzenernahr. DUng. Bodenk. 97, 9-25 (1962)

SCOTT, N. M.: Sulphate contents and sorption in Scottish soils. J. Sci. Fd. Agric. 27, 367-372 (1976)

SCOTT, N. M. and ANDERSON, G.: Organic sulphur fractions in Scottish

soils. J. Sci. Fd. Agric. 27,358-366 (1976)

SECER, M.: (G) Effect of potassium on nitrogen metabolization and grain protein formation in spring wheat. Kali-Briefe (Blintehof) 14 (6), 393-402 (1978)

SEELIG, J.: (G) Structure of lipids in biological membranes. Paper presented at the Biophys. Colloq. Giessen, 1980

SENTENAC, H., MOUSIN, D. and SALSAC, L.: (F) Measurement of phosphatase activity in cellulose cell wall material obtained with the help of a non ionic detergent. C.R. Acad. Sci. Paris, 290 (7 janvier), Serie 0-21 (1980)

SERRY, A., MAWARDI, A., AWAD, S. and AZIZ, LA.: Effect of zinc and manganese on wheat production. I. FAO/SfDA Seminar for Plant Scientists from Africa and Near East, FAO Rome 1974, p. 404-409

SERVAITES, J.C., SCHRADER, L.E. and JUNG, D.M.: Energy dependent loading of amino acids and sucrose into the phloem of soybean. Plant Physiol. 64, 546-550 (1979)

SHANMUGAM, K.T., O'GARA, F., ANDERSEN, K. and VALENTINE, R.C.: Biological nitrogen fixation. Ann. Rev. Plant Physiol. 29, 263-276 (1978)

SHARPLES, R. G.: The structure and composition of apples in relation to storage quality. Rcp. E. Mailing Res. Stn for 1967, 185-189 (1968)

SHAW, K.: Loss of mineral nitrogen from soi!. J. Agric. Sci. 58,145-151 (1962)

SHEAR, C.B.: Calcium-related disorders of fruits and vegetables. Hort. Sci. 10, 361-365 (1975) SHIMSHI, D.: Interaction between irrigation and plant nutrition. 1 n: Transition from cxtcnsive to intensive agriculture with fertilizers, p. 111-120. Proc. 7th Colloq. Int. Potash Insl., Bern 1969

SHKOLNIK, M. Y.: General conception of the physiological role of boron in plants. Physiol. Rastenii 21,140-150 (1974)

SHOMER, ILAN, A. and W AISEL, Y.: The efrcct of sodium chloridc on thc balance between the Cr and C.-carbon fixation pathways Physiol. Plant. 29, 190-193 (1973)

SHRIFT, A.: Aspects of selenium mctabolism in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 20, 475-494 (969)

SIBBFSEN, E.: A simple ion exchange resin procedure ror extracting plant available clements from soil. Plant and Soil 46, 665-669 (1977)

SIBBESEN. E.: An investigation of the anion exchange resin method for soil phosphate extraction. Plant and Soil 50, 305-321 (1978)

SIDERIS, C. P. and YOUNG, H. J.: Growth and chemical composition of Ananas comusus in solution cultures with different iron-manganese ratios. Plant Physiol. 24, 416 - 440 (1949)

SILVIUS, J.E., INGLE, M. and BAER, e.H.: Sulphur dioxide inhibition of photosynthesis in isolated spinach chloroplasts. Plant Physio!. 56, 434-437 (1975)

SIMMELSGAARD, S.6.: Adaption to water stress in wheat. Physiol. Plant. 37, 167-174 (1976)

SIMON-SYLVESTRE, G.: First results of a survey on the total sulphur content of arable soils in France. Annales agron. 20, 609-625 (1969)

SIMS, J. R. and BINGHAM, F. T.: Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: 11. Sesquioxides. Soi I Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 364-369 (1968)

SINGER, S. J.: A fluid lipid-globular protein mosaic model of membrane structure. Ann. N.Y. Acad. Sci. 195, 16-23 (1972)

SINGH, B. and BRAR, S.P.S.: Dynamics of native and applied potassium in maize-wheat rotation. Potash Review, subj. 9, 35th suite, No.6 (1977)

SINGH, T. N., P ALEG, L. G. and ASPINALL, D.: Stress metabolism HI. Variations in response to water deficit in the barley pJant. Austr. J. Biol Sci. 26, 65-76 (1973)

SIONIT, N., TEARE, I.D. and KRAMER, P.J.: Effects of repeated application of water stress and water status and growth of wheat. Physiol. Plant. 50, 11-15 (1980)

SIPPOLA, J., ERVIO, R. and ELEVELD, R.: The effects of simultaneous addition of ammonium and potassium on their fixation in some Finnish soils. Ann. Agriculturae Fenniae 12, 185-189 (1973)

SKELTON, B. J. and SHEAR, G. M.: Calcium translocation in the peanut (Arachis hypogea L.). Agron. J. 63, 409-412 (1971)

SKOKUT, T.A., WaLK, e.P., THOMAS, J., MEEKS, J.e., SHAFFER, P.W., and CHIEN W.S.: Initial organic products of assimiliation of (N-13) ammonium and (N-13) nitrate by tobacco cells cultured in different sources of nitrogen. Plant Physiol. 62, 299-304 (1978)

SLACK, A. V.: Chemistry and Technology of Fertilizers. John Wiley and Sons, New York, London, Sidney 1967

SLACK, e. R. and HATCH, M. D.: Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in tropical grasses. Biochem. J. 103, 660-665 (1967)

SLATYER, R.O.: PJant-Water Relationships. Academic Press, London, New York 1967

SLUIJSMANS, C.M.J. and KOLENBRANDER, G.J.: The significance of animal manure as a source of nitrogen in soils. In: Proc. Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Manage ment in Intensive Agriculture. p. 403-411. Tokyo 1977

SMITH, A.M. and REES, A.P.T.: Pathways of carbohydrate fermentation in the

roots of marsh plants. Planta 146, 327-334 (1979)

SMITH, F.A. and RAVEN, J.A.: H^+ transport and regulation of cell pH, p. 317-346. In: Encyclop. Plant Physiol, Vol. 2, Part A. Ed. Liittge and Pitmann. Springer, BerJin, Heidel berg, New York 1976

SMITH, F.A. and RAVEN, J.A.: Intercellular pH and its regulation. Ann. Rev. Plant Physiol. 30,289-311 (1979)

SMITH, P. F.: Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Plant Physio!. 13, 81-108 (1962)

SMITH, T.A. and GARRAWAY, J. L.: N-carbamylputrescine anintermediate in the formation of putrescine by barJey. Phytochemistry 3, 23-26 (1964)

SMITH, T. A. and SINCLAIR, C.: The effect of acid feeding on amine formation in barley. Ann. Bot. 31, 103-111 (1967)

SADEK, L. and DA SILVA, W.J.: Glutamate synthase: A possible role in nitrogen metabolism of developing maize endosperm. Plant Physiol. 60, 602-605 (1977)

SOMERS, J. J. and SHIVE, J. W.: The iron-manganese relation in plant metabolism. Plant Physiol. 17,582-602 (1942)

SOMMER, G.: (G) Pot experiments to establish the danger levels of cadmium copper, lead and zinc in relation is the application of refuse materials in agriculture. Landw. Forschung. Sonderheft 35, 350-364 (1979)

SOMMER, K. and RossIe;, K.: (G) Nitrification inhibition influencing yields in association with varied N fertilization and a proposal for classification of inhibitors. Landw. Forscll. 31. 291-299 (1978)

SONNTAG, C. and MICHAEL, G.: (G) Innuence of a late nitrogen application on the protein content and protein composition of grains obtained from conventional and lysine rich varieties of maize and barley. Z. Acker- u. Pflanzenbau 138, 116-128 (1973)

SOPER, R. J. and HUANG, P.M.: The effect of nitrate nitrogen in the soil profile on the response of barley to fertilizer nitrogen. Can. J. Soil Sci. 43, 350-358 (1962)

SOVONICK, S.A., GEIGER, D. R. and FELLOWS, R.J.: Evidence for active phloem loading in the minor veins of sugar beet. Plant Physiol. 54, 886-891 (1974)

SPANNER, D.C.: Electroosmotic flow. In: Transport in Plants I, New Serie, Val. 1 (M .H. ZIMMERMANN and J.A. MILBURN, eds.) p. 301-327. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975

SPANSWICK, R.M. and WILLIAMS, E.J.: Electrical potentials and Na, K and CI concentrations in the vacuole and cytoplasm of Nifella franslucens. J. Exp. Bot. 15, 193-200 (1964)

SPILLER, H., BOOKJANS, G. and BOGER, P.: The influence of oxygen on nitrite reduction in a reconstituted system. Z. f. Naturforschung 31C, 565-568 (1976)

STAHLIN, A.: (G) Response of grassland and forage crops on 'Floranid'. Z. Acker- u. Pflanzenbau 126, 301-316 (1967)

STANACEV, S.: Effect of vegetation space on sugar beet yield and quality. Savremena Poljoprivreda 15,403-413 (1967)

STANFORD, G., LEGG, J. O. and CHICHESTER, F. W.: Transformations of fertilizer nitrogen in soil. 1. Interpretation based on chemical extractions of labelled and unlabelled nitrogen. Plant and Soil 33, 425-435 (1970)

STANIER, R. Y., DOUDOROFF, M. and ADELBERG, E. A.: General Microbiology, 3rd ed. 1971

STAPP, e. and WETTER, e.: (G) Contributions to the quantitative microbiological determination of magnesium, zinc, iron, molybdenum and copper in soils. Landw. ForsclL 5, 167-180 (1953)

STEFFENS, D.: (G) Comparative investigations on the potassium uptake

potential and tlw development of root system of Lolium perenne and Trifolium prafense. Diss. Fachbereich 19, Erniihrungswissenschaften, Justus Liebig - University Giessen 1981

STEFFENS, D. and MENGEL, K.: (G) The uptake potential of Lolium perenne pratense for interlayer K^+ of clay minerals. Landw. Forsch. Sonderh. 36, 120-127 (1979)

STEGEMANN, H., FRANCKSEN, H. and MACKO, V.: Potato proteins: Genetic and physiological changes, evaluated by one- and two-dimensional PAA-Gel-techniques. Z. Naturforseh. 28, 722-732 (1973)

STELZER, R., LAUCHLI, A. and KRAMER, D.: (G) Intercelular pathways of chloride in roots of intact barley plants. Cytobiologie 10,449-457 (1975)

STENUIT, D. F.: (G) ReJationship between magnesium content and yield of Belgian soils. Landw. Forsch., 13. Sonderh., 23-29 (1959)

STEPHEN, e.J.: Copper uptake and accumulation by perennial ryegrass grown in soil and solution culture. J. Sci. Fel Agric. 29, 12-18 (1978)

STEPHEN, C. J.: The uptake and distribution of copper in perennial ryegrass and white clover grown in flowing solution culture with a controlleel supply of copper. .I. Sci. Fd Agric. 31, 870-876 (1980)

STEPHENS, O.: Changes in yields and fertilizer responses with continuous cropping in Uganda. Experimental Agriculture 5, 263-269 (1969)

STEUCEK, C.G. and KOONTZ, H. V.: Phloem mobility of magnesiulll. Plant Physiol. 46, 50-52 (1970)

STEVENINCK, R. F. M. VAN: The signilicance of calcium on thc apparent permeability of cell membranes and the eflects of substitution with othcr divalcnt iOlls. Physiol. Plant. 18, 54- 69 (1965)

STEVENSON, F.J. and ARDAKANI, M.S.: Organic matter reactions envolving micronutrients in soils, p.79-114. In: Micronutrients in Agriculture, ed. Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison/Wisconsin

1972

STEWART, W.O. P.: Nitrogen Fixation in Plants. University of London, The athlone Press 1966

STEWART, W.O.P.: Nitrogen-fixing plants. Science 158,1426-1432 (1967)

STOCKER, O.: (G) Water and photosynthetic status of Central European grasses, a contribution to the general problem of grass types. Flora (lena) B 157, 56-96 (1967)

STONER, C. D., HODGES, T. K. and HANSON, J. B.: Chloramphenicol as an inhibitor of energylinked processes in maize mitochondria. Nature 203, 258-269 (1964)

STOREY, H.H. and LEACH, R.: Sulphur deficiency disease in the tea bush. Ann. Appl. Biol. 20, 23-56 (1933)

STOUT, P.R. and MEAGHER, W.R.: Studies of the molybdenum nutrition of plants with radioactive molybdenum. Science 108, 471-473 (1948)

STOUT, P. R., MEAGHER, W.R., PEARSON, G.A. and JOHNSON, C.M.: Molybdenum nutrition of crop plants. 1. The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures. Plant and Soil 3, 51-87 (1951)

STOY, V.: (G) Assimilate synthesis and distribution as components for the yield formation of cereals. Symp. German Ass. Appl. Botany, Hanover 1972

STREETER, J.G.: Allantoin and allantoic acid in tissues and stem exudate from field grown soybean plants. Plant Physiol. 63, 478-480 (1979)

STUTTE, C.A., WEILAND, R.T. and BLEM, A.R.: Gaseous nitrogen loss from soybean foliage. Agron. J. 71,95-97 (1979)

SUBBA RAO, N. S.: Prospects of bacterial fertilisation in India. Fertil. News 19, 32-36 (1974)

SUBBA RAO, N. S. and V ASANTHA, P.: Nodulation of Trifolium

alexandrinum in vitro and nitrate effect on the amino acid composition of the plant and its root exudate. Canad. .I. Bot. 43, 1189-1194 (1965)

SUELTER, C.H.: Enzymes activated by monovalent cations. Science 168, 789-795 (1970)

SUTCLIFFE, J.: Plants and Water, 2nd edition (ARNOLD, ed.). Studies in Biology 14, 1979

SWAINE, D.J.: The trace element content of soils. Soil Sci. Techn. Comm. No. 48. Herald Printing Works, Coney St., York (England). 1955

SYWOROTKIN, G. S.: (G) The boron content of plants with a latex system. Spurenelemente in der Landwirtschaft, 283-288, Akademie- Verlag Berlin 1958

SZABOLCS, I.: Solonetz soils in Europe, their formation and properties with particular regard to utilization, p. 9-33. In: I.SZABOLCS: European Solonetz Soils and their Reclamation. Akademiai Kiad6 Budapest 1971

SZALAY, A. and SZILAGYI, M.: Laboratory experiments on the retention of micro nutrients by peat humic acids. Plant and Soil 29, 219-224 (1968)

TAKAHASHI, E. and MIYAKE, Y.: Silica and plant growth. Tn: Proc. Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture p. 603-611. Nippon Dojohiryo Gakkai, Tokyo 1977

TAKAI, Y., KOYAMA, T. and KAMURA, T.: Microbial metabolism of paddy soils. J. Agr. Chem. Soc. Japan 31, 211-220 (1957)

TAKAKI, H. and KUSHIZAKI, M.: Accumulation of free tryptophan and tryptamine in zinc deficient maize seedlings. Plant and Cell Physiol. n, 793-804 (1970)

TAKKAR, P.N. and SINGH, T.: Zn nutrition of rice as influenced by rates of gypsum and Zn fertilization of alkali soils. Agron. J. 70, 447-450 (1978)

TANAKA, A.: The relative importance of the source and the sink as the yield-limiting factors or rice. ASPAC, Technical Bulletin No.6, p. 1-18 (1972)

TANAKA, A.: Influence of special ecological conditions on growth, metabolism and potassium nutrition of tropical crops as exemplified by the case of rice. In: Potassium in Tropical Crops and Soils. 10th Colloq. Int. Potash Inst., p. 97 - 116, Bern 1973

TANAKA, A., YAMAGUCHI, .I. and KAWAGUCHI, K.: A note on the nutritional status or the rice plant in Italy, Porlugal, and Spain. Soil Sci. Planl Nutr. 19. (3) 161-171 (1973)

TANAKA, A. and YOSHIDA, S.: Nutritional disorders of the flce plant in Asia. Intern. Rice Res. Inst., Technical Bullelin 10 (1970)

TANAKA, H.: Boron adsorplion by plant roots. Plant and Soil 27, 300-302 (1967)

TANNENBAUM, S.R., FErr, D., YOUNG, V.R., LAND, P.O. and BRUCE, W.R.: Nitrite and nitrate are formed by endogenous synthesis in the human intestine. Science 20, 1487-1489 (1978)

TAYLOR, D. M., MORGAN, P. W., .1011 AM, H. E. and AMIN, J. V.: Influence of substrate and tissue manganese on the I AA-oxidase system in cotton. Plant Physiol. 43, 243-247 (1968)

TAYLOR, H.M. and KUPPER, B.: The role of rooting characteristics in the supply or waler to plants. Adv. Agron. 30, 99-128 (1978)

TAYLOR, R.M. and GILES, .1.8.: The association of vanadium and molybdenum with iron oxides in soils..I. Soil Sci. 21, 203-215 (1970)

TAYLOR, R.M. and McKENZIE, R.M.: The association of trace elements with manganese minerals in Australian soils. Aust. .I. Soil Res. 4, 29-39 (1966)

TERMAN, G.J.: Effect of rate and source of potash on yield and starch coutent or potatoes. Maine Agric. Expt. Sta. Bull. 58/,1-24 (1950)

TERMAN, G.L.: Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. Adv. Agron.

31, 189-223 (1979)
TERMAN, G. L. and ALLEN, S.E.: Leaching of soluble and slow-release Nand K fertilizers rrom lakeland sand under glass and fallow. Soil and Crop Science Society of Florida, Proceed. 30, 130-140 (1970)
TERMAN, G. L. and BROWN,' M.A.: Uptake of fertilizer and soil nitrogen by rye grass, as affected by carbonaceous residues. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 32, 86-90 (1968)
TERMAN, G.L., MORENO, E.C. and OSBORN, G.: AcidulatIOn of phosphate rock in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28,104-107 (1964)
TERRY, N.: Photosynthesis growth and the role of chloride. Plant Physiol 60, 69-75 (1977)
TERRY, N.: Limiting factors in photosynthesis I. Use of iron stress to control phytochemical capacity in vivo. Plant Physiol 65, 114 - 120 (1980)
TERRY, N. and ULRICH, A.: Effects of potassium deficiency on the photosynthesis and rcspiration of leaves of sugar beet. Plant Physiol. 51, 783-786 (1973)
TESKE, W. and MATZEL, W.: (G) Nitrogen leaching and nitrogen utilization by the planls as established in field lysimeters using 15-N urea. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 20, 489-502 (1976)
THOMSON, I., THORNTON, 1. and WEBB, J. S.: Molybdenum in black shales and the incidence of bovine hypocuprosis. J. Sci. Fd Agric. 23, 879-891 (1972)
THOMSON, W. W. and WEIER, T.E.: The fine structure of chloroplasts from mineral-dcficient leaves of Phaseollis vulgaris. Am. J. Bot. 49, 1047-1055 (1962)
THOMSON, W. W. and WEIER, T. E.: An electron microscope study of chloroplasts from leaves deficient in nitrogen, phosphorus, magnesium, potassium and zinc. Plant PhysioI. 37, X I (1962)

TIFFIN, L. O.: Iron Translocation. I. Plant culture exudate sampling, iron/citrate analysis. Plant Physiol. 41, 510-514 (1966)

TIFFIN, L. O.: Translocation of manganese, iron, cobalt and zinc in (omalo. Planl Physiol. 42, 1427-1432 (1967)

TIFFIN, L. O.: Translocation of micronutrients in plants, p. 199-229. In: M icronutricnls in Agriculture. Soil Sci. Soc. America I nc., Madison 1972

TIFFIN, L. O. and BROWN, .I. c.: Sclective absorption of iron from iron chelatcs by soybcan plants. Plant Physiol. 36, 710-714 (1961)

TINKER, P. B..: The cffects of magnesium sulphate on sugar bcet yield and its inleractions with othcr fertilizers. .I. agric. Sci. Camb. 68, 205-212 (1967)

TOLBERT, N.E.: (2-chloroethyl) trimcthylammonium chloride and relaled compounds as plant growth substances. II. [lreCl or growth on wheat. Planl Physiol. .15, 380-385 (1960)

TOLBERT, N.E.: Glycolate metabolism by higher plants and algae. In: Photosynthesis II, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 338-352. Springer-Verlag Berlin, Heide]berg, New York 1979

TORIYAMA, K.: Development of agronomic practices for production of field crops under irrigated conditions-rice. In: I. FAOJSIDA Seminar for Plant Scientists from Africa and the Near East, Cairo 1973, p. 452-456. FAO, Rome 1974

TOUCHTON, J.T., HOEFT, R.G. and WELCH, L.F.: Nitrapyrin degradation and movement in soil. Agron. J. 70, 811-816 (1978)

TRAVIS, R.L. and Booz, M.L.: Partial characterisation of a potassium-stimulated adenosine trophosphatase from the plasma membrane of meristematic and mature soybean root tissue. Plant Physiol. 63, 573-577 (1979)

TREBST, A.: Energy conservation in photosynthetic ektron transport of chloroplasts. Ann. Rev. Plant Physiol. 25, 423-458 (1974)

TREBST, A. and PISTORIUS, E.: (G) Role of plastocyanin in the photosynthesis of isolated chloroplasts. Beitrage zur Biochemie und Physiologie von Naturstoffen. Festschrift Kurt Mothes zum 65. Geburtstag - Fischer-Verlag, Jena 1965

TRELEASE, S. F.: Selenium in soils, plants and animals. Soil Sci. 60, 125-131 (1945)

TRIP, P.: Sugar transport in conducting elements of sugar beet leaves. Plant Physiol. 44, 717-725 (1969)

TROCME, S. and BARBIER, G.: (F) Influence of 'old' and 'young' potassium on the sugar content of sugar beets, p. 127-1 29. lnt. Potash Inst., Bern 1966

TROLLDENIER, G.: (G) Cereal diseases and plant nutrition. Potash Review Subj. 23, suite 24 (1969)

TROLLDENIER, G.: Recent aspects of the influence of potassium on stomatal opening and closing, p. 130-133. In: Potassium in Biochemistry and Physiology. Proc. 8th Colloq. Int. Potash Inst., Bern 1971

TROLLDENIER, G.: (G) Soil Bio]ogy, the Soil Organisms in the Economy of Nature, p. 116. Franckh'sche Verlagshand]ung, Stuttgart 1971

TROLLDENIER, G.: Secondary effects of potassium and nitrogen on rice: Change in microbial activity and iron reduction in rhizosphere. Plant and Soil 38, 267-279 (1973)

TROLLDENIER, G.: Secondary effects of potassium and nitrogen nutrition of rice: Change in microbial activity and iron reduction in the rhizosphere. Plant and Soil 38, 267-279 (1973)

TROLLDENIER, G. and ZEHLER, E.: Relationship between plant nutrition and rice diseases. In: Fertilizer Use and Plant Health, p. 85-93. Proc.

12th Colloq. lnt. Potash Inst., Bern 1976

TRUOG, E.: The determination of the readily availab]e phosphorus of soils. J. Am. Soc. Agr. 22, 879 - 890 (1930)

TS'O, P. O. P.: The ribosomes-ribonucleoprotein particles. Ann. Rev. Plant Physiol. 13, 45-80 (1962)

TSUI, C.: The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. Amer. J. Bot. 35, 172-179 (1948)

TUBB, R. S.: G]utamine synthetase and ammonium regulation of nitrogenase s ynthesis in Klebsiella. Nature 251, 481-485 (1974)

TUKEY, H.B., WITTWER, S.H. and BUKovAc, M.J.: The uptake and loss of materials by leaves and other above-ground plant parts with special reference to plant nutrition. Nutrient Uptake of Plants, 4. Intern. Symposium, Agrochimica Pisa, Florenz, p. 384 - 413 (1962)

TURNER, D.W. and BARKUS, B.: The effect of season, stage of plant growth and leaf position on nutrient concentrations in the banana leaf on a Kraznozem in New South Wales. Aust. J. Exp. Agric and An Husb. 14, 112-117 (1974)

TURNER, R. G.: The subcellu]ar distribution of zinc and copper within the roots of metaltolerant clones of Agrosfis fel1uis Sibth. New Phytol. 69, 725-731 (1969)

TURNER, R. G. and MARSHALL, c.: The accumulation or Zn-65 by root homogenates of Zn tolerant and non tolerant clones or Agrosli Sibth. New Phytol. 70, 539-545 (1972)

UEXKULL, H. R. VON: Response of coconuls to potassium chloride in the Philippincs. Oleagineux 27, 31-91 (1972)

ULRICH, A.: Metabolism or non-volatile organic acids in excised barley roots as related to cation-anion balance during salt accumulation. Amer. J. Bot. 28, 523-537 (1941)

ULRICH, A. and FONG, K. H.: Eflects of potassium nutrition on growth and cation content of potato leaves and tubers relative to plant analysis. J. Amer. Sci. 94, 356-359 (1969)

ULRICH, A. and HILLS, F. J.: Plant analysis as an aid in fertilizing supar crops. Part I: Suga I beets, p. 271-288. In: Soil Testing and Plant Analysis. Ed. L. M. Walsh and J. D. Beaton. S.S.S.A. 1973

ULRICH, A. and HYLTON, L. O. jr.: Sulphur nutrition of Italian ryegrass measured by growth and mineral content. Plant and Soil 29, 274-284 (1968)

ULRICH, A. and OHKI, K.: Chlorine, bromine and sodium as nutrients for sugar beet plants. Plant Physiol. 31,171-181 (1956)

ULRICH, A. and OHKI, K.: Potassium, p. 362-393. In: H. D. CHAPMAN: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, Riverside, Dif. of Agric. Sciences 1966

ULRICH, A., RIRIE, D., HILLS, F.J., GEORGE, A. G. and MORSE, M. D.: Principles and practices of plant analysis. In: Soil Testing and Plant Analysis. II. Plant Analysis. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wise., p. 11-24 (1967)

ULRICH, A., TABATABAl, M.A., OHKI, K. and JOHNSON, C.M.: Sulfur content of alfalra in relation to growth in filtered and unfiltered air. Plant and Soil 26, 235-252 (1967)

UNDERWOOD, E.J.: Trace E]ements in Human and Animal Nutrition. Academic Press, New York 1971

V AADIA, Y., RANEY, F. C. and HAGAN, R. M.: Plant water deficits and physiological processes, Ann. Rev. Plant Physiol. 12, 265-292 (1961)

VALLEE, B.L. and WACKER, W.E.C.: Metalloprotein: in H.Neurath (ed.). The Proteins (2nd ed.), Vol. 5, Academic Press, New York, p. 192 (1970)

VAN DEENEN, L. L. M.: (G) Phospholipids. Re]ationships between their chemical structure and biologica] membranes. Naturwissenschaften 59, 485-491 (1972)

VANSELOW, A.P.: Cobalt, p.142-156. In: H.D.CHAPMAN: Criteria for Plants and Soils, University of California, Div. of Agric. Sciences 1966

VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A.H.: The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sci. 32,181-193 (1931)

VENKATESWARLU, P., ARMSTRONG, W. D. and SINGER, L.: Absorption of fluoride and chloride by barley roots. Plant Physiol. 40, 255-261 (1965)

VENKAT RAJU, K. and MARSCHNER, H.: Regulation of iron uptake from relatively insoluble iron compounds by sunflower plants. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. 133, 227-241 (1972)

VENTER, H.A. VAN DE and CURRIER, H.B.: The effect of boron deficiency on callosc formation and 14C translocation in bean (Phaseolus vulgaris) and cotton Am. J. Bot. 64,861-865 (1977)

VERGNANO, O. and HUNTER, J. G.: Nickel and cobalt toxicities in oat plants. Ann. Bot. NS 17, 317-328 (1952)

VERTREGT, N.: Relation between black spot and composition or the potato tuber. Eur. Potato J. 11, 34-44 (1968)

VESK, M., POSSINGHAM, J. V. and MERCER, F. V.: The efreel of mineral nutrient deficiencies on the structure of leaf cells of tomato, spinach and maize. Aust. .I. Bot. 14, 1-18 (1966)

VETTER, H. and KLASINK, A.: (G) Nutrient contents in slurries and raeces. In: Wicviel dihlgen ? p. 189-194. DLG-Verlag Frankfurt 1977

VETTER, H. and TEICHMANN, W.: (O) Field trials with varied copper and nitrogell treatments in Weser-Ems. Z. Pflanzenerniil1r. Bodenkd, 121,97-111 (1968)

VIETS, F.G.: Calcium and other polyvalent cations as accelerators or ion accumulation by excised barley roots. Plant Physiol. 19, 466-480 (1944)

VIETS, F.G.: Water quality in relation (0 rarmuse or fertilizer, Bio, Science 21, 460-467 (1971)

VIETS, F. G., BOAWN, L. C. and CRAWFORD, C. L.: Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown on a zinc deficient soil. Soil Sci. 78, 305-316 (1954)

VINCENT, J., LEGGETT, J.E. and EGLI, D.B.: Cation accumulation by Glycine max. (L) Merr. as related to maturity s.tages. In: The Soil Root Interface (J.L. HARLEY and R. Scon RUSSELL, eds. p. 440. Academic Press, London, New York, San Francisco, 1979

VINES, H. M. and WEDDING, R. T.: Some effects of ammonia on plant metabolism and a possible mechanism for ammonia toxicity. Plant Physiol. 35, 820-825 (1960)

VIRO, M.: (G) The effect of a varied nutrition with potassium on the translocation of assimi lates and minerals in Lycapersican esculentum. Diss. Fachbereich 19 Ernahrungswissen schaften, Justus-Liebig-Universitat Giessen 1973

VIRUPAKSHA, T. K. and SHRIFT, A.: Biochemical differences between selenium accumulator and non-accumulator Astragalus species. Biochim. Biophys. Acta 107, 69-80 (1965)

VLAMIS, J.: Acid soil infertility as related to soil solution and solid-phase effects. Soil Sci. 75, 383-394 (1953).

VLAMIS, J. and WILLIAMS, D.E.: Manganese and silicon interactions in the gramineae. Plant and Soil 27, 131-140 (1967)

VOLKER, L.: (G) Influence of a late additional nitrogen application on the content of several amino acids in grain proteins. Landw. Forsch. 13,

307-316 (1960)

VOMEL, A.: (G) Nutrient balance in various lysimeter soils. I. Water leaching and nutrient balance. Z. Acker- u. Pflanzenbau 123, 155-188 (1965/66)

VORM VAN DER, P.D.J. and DIEST VAN A.: Aspects of the Fe and Mn nutrition of rice plants. II. Iron and manganese uptake by rice plants grown on aerobic water cultures. Plant and Soil 52, 12-29 (1979)

WAGGONER, P.E. and ZELITCH, I.: Transpiration and stomata of leaves. Science 150, 1413-1420 (1965)

WAGNER, H. and MICHAEL, G.: (G) Effect of a varied nitrogen supply on the synthesis of cytokinins in roots of sunflower. Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP) 162, 147-158 (1971)

WAHLE, K.W.J. and DAVIES, N.T.: Involvement of copper in microsomal mixed-function oxidase reactions: a review. J. Si. Fd. Agric. 28, 93-97 (1977)

W AHUA, T.A.T. and MILLER, D.A.: Effects of shading on the N2-fixation, yield and plant composition of field-grown soybans. Agron. J. 70, 387-392 (1978)

WAINWRIGHT, S. J. and WOOLHOUSE, H. W.: Physiological mechanisms of heavy metal tolerance in p]ants, p.231-257. In: M.J.CHADWICK and G.T.GOODMAN: The Ecology of Resource Degradation and Renewal. Blackwell, Oxford 1975 WALKER, D. A.: Three phases of chloroplast research. Nature 226, 1204-1208 (1970)

WALKER, D. A.: Chloroplast and cell - The movement of certain key substances across the chloroplast envelope, p. 1-49. Tn: D. H. NORTHCOTE: Int. Review of Science, Plant Bio chemistry Series 1, Vol. JI, Butterworths 1974

WALKER, D.A.: Regulation of starch synthesis in leaves - the role of orthophosphate. In: Physiological Aspects of Crop Productivity, p. 195-

207. Proc. 15th Colloq. lnt. Potash Inst., Bern 1980

WALKER, N.: Report of the Rothamsted Experimental Station, Part 1. p. 283 (1976)

WALKER, N. A.: The structure of biological membranes. In: U. LUnGE and M. G. PITMAN: Transport in Plants II, Part A Cells. Enc. of Plant Physiology, New Series, Vol. 2, p. 3-11, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1976)

WALKER, T. W.: Re]ations between the soil, the soil solutions and inorganic plant nutrition. Agric. Progress 20, 74 - 87 (1946)

WALKER, T. W. and ADAMS, A.F. R.: Competition for sulphur in a grass-clover association. Plant and Soil 9, 353-366 (1958)

WALKER, T.W., ORCHISTON, H.D. and ADAMS, A.P.R.: The nitrogen economy of grass legume associations. J. Brit. Grassl. Soc. 9, 240-274 (1954)

WALKER, T. W. and SYERS, J. K.: The fate of phosphorus during pedogenesis. Geoderma 15, 1-19 (1976)

WALLACE, A., FROLlCH, E. and LUNT, O. R.: Calcium requirements of higher plants. Nature 209, 634 (1966)

WALLACE, T.: The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms. A colour Atlas and Guide. Her Majesty's Stationery Office, London 1961

WALLACE, W. and PATE, J.S.: Nitrate reductase in the field pea (Pisumarvense L.). Ann. Bot (London) N.S., 29, 655-671 (1965)

WALLACE, W. and PATE, J.S.: Nitrate assimilation in higher plants with special reference to cocklebur (Xanthium pellllsylvaticlllll Wallr). Ann. of Bot. 31, 213-228 (1967)

WALSH, T. and GOLDEN, J. D.: The boron status of Irish soils in relation to the occurrence of boron deficiency in some crops in acid and alkaline

soils. Int. Soc. Soil Trans (Comm II and IV) 11, 167-171 (1952)

WALTER, B., BATGEN, D., PATENBURG, H. and KOCH, W.: (G) Effect of gas and salt on soil and plant. Das Gartenamt 10, 578-581 (1974)

WALTER, B., KOCH, W. and BASTGEN, D.: (G) Experiences and results of urea foliar applications to grapes. Weinberg und Keller 20, 265-274 (1973)

WANASURIA, S., DE DATTA, S.K. and MENGEL, K.: Rice yield in relation to electroultratlltration extractable soil potassium. Plant and Soil 59, 23-31 (1981)

WANASURIA, S., MENGEL, K. and DE DATTA, S.K.: Use of electro-ultrafiltration (EUF) tech nique to study the potassium dynamics of wetland soils and potassium uptake by rice. Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo) in press (1981)

WARD, G.M. and MILLER, M. J.: Magnesium deficiency in greenhouse tomatoes. Canad..I. Plant Sci. 49, 53-59 (1969)

WARDLAW, J.F.: The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. II. Effect during leaf development in La/ium temulentum. Aust. J. bioI. Sci. 22, 1-16 (1969)

WARNOCK, R.E.: Micronutrient uptake and mobility within corn plants (Zea mays L.) in relation to P induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 765-769 (1970)

WARREN-WILSON, J.: Maximum yield potential. In: Transition from Extensivc to Intensive Agriculture with Fertilisers, p. 34-56. Proc. Vllth Colloq. lnt. Potash Inst., Bern 1969

WARRINGTON, K.: The influence of iron supply on toxic effects of manganese molybdcnum and vanadium on soybeans, peas and flax. Ann. Appl. BioI. 41, 1-22 (1955)

WATANABE, H. and YOSHIDA, S.: Effects of nitrogen, phosphorus, and

potassium on photophosphorylation in rice in relation to the photosynthetic rate of single leavcs. Soil Sci. Plant Nut. 16, 163-166 (1970)

WATANABE, I., BERJA, N.S. and DEL ROSARIO, D.C.: Growth of AzalIa in paddy ields as affected by phosphorus fertilizer. Soil. Sci. Plant Nutr. 26, 301-307 (1980)

WATANABE, 1., ESPINAS, C.R., BERJA, N.S. and ALIMAGNO, B.V.: Utilization of the Azolla Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. IRRr Research Paper Series No. II, 3.-14. November (1977)

WATSON, D. J.: The physio]ogical basis of variation in yield. Adv. Agron. 4, 101-144 (1952) WATSON, J. D.: Molecular Biology of the Gene. Benjamin, New York, p. 494 (1965)

WEBLEY, D. M. and DUFF, R.B.: The incidence in soils and other habitats of microorganisms producing α - ketogluconic acid. Plant and Soil 22, 307-313 (1965)

WEHRMANN, J. and SCHARPF, H.C.: (G) The mineral contcnt of the soil as a mcasurc of the nitrogen fertilizer requircment (Nmil1 mcthod). Plant and Soil 52, 109-126 (1979)

WEIGL, J.: (G) Proof of the participation of mobilc carriers in ion transport through plant membranes and thc kinetics of anion transport in Elodea in light and dark. Planta 75. 327-342 (1967)

WEINSTEIN, L. H.: Fluoridc and plant life. .I. of Occupational Medicine /9, 49-7X (1977)

WI,ISSMAN, G.S.: Glutamine synthetase regulation by energy charge in sunllower roots. Plant Pbysiol. 57. 339-343 (1976)

WELCH, L. F., JOHNSON, P. E., McKIBBEN, G. E., BOONE, L.V. and PENDLETON, I.W.: Relative efficiency of broadcast versus banded potassium for corn. Agron. J. 58, 618-621 (1966)

WELCH, R.M.: The biological significance of nickel. J. Plant Nutrition. in press, 1982

WELCH, R. M. and HUFFMAN, W. D.: Vanadium and plant nutrition. Plant Physiol. 52, 183-185 (1973)

WELCH, R.W.: Genotypic variation in oil and protein in barley grain. J. Sci. Fd Agric 29, 953-958 (1978)

WELLBURN, A. R., MAJERNIK, O. and WELLBURN, F. A. M.: Effects of $S0_2$ and NO_2-poliuted air upon the ultrastructure of chloroplasts. Environ. Pollution 3, 37-49 (1972)

WELLER, F.: A method for studying the distribution of absorbing roots of fruit trees. Expl. Agric. 7, 351-361 (1971)

WERNER, D.: (G) Investigations into the role of silicic acid for the development of higher plants and analysis of the inhibition by germanium acid. Planta 76, 25-36 (1967)

WERNER, D.: (G) Dinitrogen fixation and primary production. Ange:w. Botanik 54, 67-75 (1980)

WERNER, W.: (G) Characterization of the avai]able phosphate after an application of different phosphate forms for some years. Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 122, 19-32 (1969)

WEST, K. R. and PITMAN, M. G.: Rubidium as a tracer for potassium in the marine algae Viva laetuea L. and Chaetomorpha darwinii (Hooker) Kuetzing. Nature 214, 1262-1263 (1967)

WHEELER, A.W.: Changes in growth-substance content during growth of wheat. J. appl. BioI. 72, 327-334 (1972)

WHITE, D.J.: Energy use in agriculture. In: Aspects of Energy conversion (BLAIR, JONES and VAN HORN, eds.) Pergamon Press, Oxford and New York1976

WHITE, G. C. and GREENHAM, D. W. P.: Seasonal trends in mineral

nitrogen content of the soil in a long-term NPK trial on dessert apples. J. horticult. Sci. 42, 419-428 (1967)

WHITEHEAD, D. C.: Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. Soils Fert. 29, 1-9 (1964)

WICKE, H.J.: (G) Effect of high potassium rates on yield and quality parameters of crops (results of field trials). Albrecht- Thaer-Archiv 12, 889-902 (1968)

WIDDOWSON, F. V., PENNY, A. and WILLIAMS, R.J.B.: Experiments measuring effects of ammonium and nitrate fertilizers, with and without sodium and potassium, on spring barley. J. agric. Sci. 69, 197-207 (1967)

WIEBE, H. H. and AL-SAADI, H. A.: Matric bound water of water tissue from succulents. Plant Physiol. 36, 47-51 (1976)

WIERSUM, I.K.: Calcium content of the phloem sap in relation to the Ca status of the plant. Acta bot. neerl. 28, 221-224 (1979)

WIKLANDER, L.: Forms of potassium in the soil, p. 1O:J-121. 2nd Congr. Int. Potash Inst., Bern 1954

WIKLANDER, L.: The soil, p. 118-164. In: Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 4, SpringerVerlag, Ber]in, Gottingen, Heidelberg 1958

WIKLANDER, L. and HALLGREN, G.: Studies on gyttja soils. Kungl. Lantbeukshogsk. Ann. 16, 811-827 (1949)

WILO, A., SKARLOU, V., CLEMENT, C.R. and SNAYOON, R.W.: Comparison of potassium uptake by four plant species grown in sand and in flowing culture. J. appl. Ecol. II, 801-802 (1974)

WILKINSON, B.: Boron in the glasshouse tomato plant. Nature 180, 666 (1957)

WILKINSON, B. G.: Mineral composition of apples. IX. Uptake of calcium by the fruit. J. Sci Fd. Agric. 19, 446-447 (1968)

WILLIAMS, C.H. and DAVID, D.J.: The effects of superphosphate on the cadmium content of soils and plants. Australian J. Soil Research 11,43-56 (1973)

WILLIAMS, D.E. and VLAMIS, J.: The effect of silicon on yield and mangancsc 54 uplake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions. Plant Physiol. 32, 404-409 (1957)

WILLIAMS, E. G.: InOuences of parent malerial and drainage conditions on soil phosphorus relationships. Agrochimica 3, 279 (1959)

WILLIAMS, E. G.: Factors affecting the availability of soil phosphate and efficiency of phosphate fertilizers. Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Research on the Use of Mineral Fertilizers, Moscow (1970)

WILLIAMS, E. G. and KNIGHT, A. H.: Evaluations of soil phosphate status by pot experiments, conventional extraction methods and labi]e phosphate values estimated with the aid of phosphorus 32. J. Sci. Fd. Agric. 14,555-563 (1963)

WILLIAMS, R.J.B.: The chemical composition of water from land drains at Saxmundham and Woburn, and the influence of rainfall upon nutrient losses. Rep. Roth. Exp. Sta. part 2, p. 36-67 (1970)

WILLIAMS, W. A., MORSE, M. D. and RUCKMAN, J. R.: Burning vs incorporation of rice crop residues. Agron. J. 64, 467 - 468 (1972)

WILSON, D. O. and REISENAUER, H. M.: Cobalt requirement of symbiotically grown alfalfa. Plant and Soil 19, 364-373 (1967)

WILSON, L.G., BRESSAN, R.A. and FILNER, P.: Light-dependent emission of hydrogen sulfidl.: from plants. Plant Physiol. 61,184 - 189 (1978)

WILSON, S. B. and HALLSWORTH, E. G.: Studies of the nutrition of the forage legumes. IV. The effect of cobalt on the growth of nodulated and non nodulated Trifolium Plant and Soil 22, 260 (1965)

WILSON, S. B. and NICHOLAS, D. J. D.: A cobalt requirement for non-nodulated legumes and for wheat. Phytochemistry 6, 1057-1060 (1967)

WINNER, c.: (G) Questions concerning the choice of cultivars and fertilizer application in relation to beet quality in modern sugar beet cultivation. Zucker 21,521-530 (1968)

WINSOR, G. W.: Potassium and the quality of glasshouse crops. In: Potassium and the Qualily of Agricultural Products, p. 303-312, Proc. 8th Congr. Int. Potash Inst., Bern 1966

WINTER, H. C. and BURRIS, R. H.: Nitrogenase Ann. Rev. Biochemistry 45,409 - 426 (1976)

WITTWER, S. H. and TEUBNER, F. G.: Foliar absorption of mineral nutrients. Ann. Rev. Plant Physiol. 10, 13-32 (1959)

WITTWER, S. H. and TOLBERT, N. E.: 2-Chloroetyl trimethyl-ammonium chloride and rclatl.:d compounds as plant growth substances. Plant Physiol. 35, 871-877 (1960)

WOLDENDORP, J. W.: Losses of soil nitrogen. Stikstof, Dutch Nitrogenous Fertilizer Review, Nr. 12, 32-46 (1968)

WOLLNY, E.: (G) Investigations into the capillary movement of water in soils. Forsch.-Gebiete Agr.-Phys. 8, 206-220 (1885)

WOOLEY, J. T.: Sodium and silicon as nutrients for the tomato plant. Plant Physiol. 32, 317-321 (1957)

WOOLHOUSE, H. W.: Light gathering and carbon assimilation processes in photosynthesis: their adaptive modifications and significance for agriculture. Endeavour, New Series 2, 35-46 (1978)

WRIGHT, J.P. and FISHER, D.B.: Direct measurement of sieve tube turgor pressure using severed aphid stylets. Plant Physiol. 65, 1133-1135 (1980)

WU, M. M.H., WANG, Y. P. and TANG, C. N.: Appraisal of the effectivencss

of a native strain of soybean bacteria on powdered carrier by Island-widc field inoculation. J. Agric. And Forestry 18, 1-9 (1969)

WUNDERLICH, F.: (G) The nuclcus malrix: Dynamic protein-structure in ccllnucleus. Naturw. Rdsch. 31, 282-288 (1978)

WVN JONES, R. G. and LUNT, O. R.: The function of calcium in plants. Bol. Rev. 33,407-426 (1967)

WVN JONES, R. G., SUTCLIFFE, M. and MAHSHAI. I., C.: Physiological and biochemical basis for hcavy metal tolerance in clones of Agrostis tenuis, In: R. M. SAMISH: Recent Advances in Plant Nutrition. Gordon and Breach, New York 1971

YOSHIDA, S. and CASTANEDA, L.: Partial replacement of potassium by sodium in the rice plant under weakly saline conditions. Soil Sci. Plant Nutr. 15, 183-186 (1969)

YOSHIDA, S., FORNO, D.A. and BHADROCHALM, A.: Zinc deficiency of the rice plant on calcareous and neutral soils in the Philippines. Soil Sci. Plant Nutr. 17, 83-87 (1971)

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y. and KITAGISHI, K.: Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. Soil Sci. Plant Ntr. 8, 15-21 (1962)

ZECH, W.: (G) Needle analytical investigations into the lime chlorosis of the pine (Pinus silvestris). Z. Pflanzenerniihr. Bodenk. 125,1-16 (1970)

ZECH, W., KOCH, W. and FRANZ, F.: (G) Net assimilation and transpiration of pine twigs in dependence on potassium supply and light intensity. Kali-Briefe, Fachgeb. 6, 1. Folge (1971)

ZEEH, B., KONIG, K.H. and JUNO, J.: Development of new plant growth regulators with biological activity related to CCC. Kemia-Kemi 1 (Helsinki) 9, 621-623 (1974)

ZELITCH, I.: Photorespiration: Studies with whole tissues. In: Photosynthesis

II, Encycl. Plant Physiol. New Series, Vol. 6 (M. GIBBS and E. LATZKO, eds.) p. 351-367. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1979



منشورات جامعة عمر المختار 2022